

CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD PEATONAL EN LOS ACCESOS Y  
SALIDAS DE UNA ESTACIÓN BRT, CASO TRANSMILENIO.



HEIMER ANDERSSON SANTOS AMADO  
LAURA SOFÍA VELANDIA ACEVEDO



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS  
TUNJA BOYACÁ  
2018

CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD PEATONAL EN LOS ACCESOS Y  
SALIDAS DE UNA ESTACIÓN BRT, CASO TRANSMILENIO.

HEIMER ANDERSSON SANTOS AMADO  
LAURA SOFÍA VELANDIA ACEVEDO

TRABAJO DE GRADO  
Para optar al título de:  
INGENIERO EN TRANSPORTE Y VÍAS

Director:  
JONATAN JAIR VILLAMARÍN MONROY  
Ingeniero en Transporte y Vías  
Especialista en Tránsito y Transporte

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS  
TUNJA BOYACÁ  
2018

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Tunja Boyacá, Marzo de 2018.

*“La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto no responde a las opiniones expresadas en este trabajo de grado”*

*“Se autoriza su reproducción indicando su origen. El uso de la información es exclusiva de los autores”*

©2018

## **DEDICATORIA**

*He logrado concluir con éxito un proyecto que al principio parecía ser tarea titánica e interminable, quiero agradecer a la vida por permitirme recorrerla incansablemente, por ponerme a prueba y consentirme aprender de los errores. Dedico mi trabajo de grado a ustedes seres queridos que siempre llevo en mí ser; Viviana y Javier mis amados padres, quienes son un pilar fundamental en mi vida, por su apoyo constante e incondicional, por sus enseñanzas, amor, paciencia y por permitirme mediante su esfuerzo cumplir mis sueños. A mi hermano Sebastián, mi persona favorita en el mundo, por su compañía y alegría. A mis abuelos Efraín, Martha y Guillermo por inculcarme el respeto y la responsabilidad, por ser mi voz de aliento y motivación cada día y por ser fuente de amor y sabiduría. A mi abuelita Dora Sofía (QEPD), por ser mi estandarte de vida, por enseñarme que el carácter es más fuerte cuando está acompañado de la dulzura del alma. A mis tíos universales Ricardo y Milena quienes siempre han estado presentes a lo largo de mi vida siendo un híbrido entre padres y hermanos, por su protección, apoyo y complicidad. A Paula, Daniela e Isabella por alegrarme la vida. A mis profesoras Gloria Herrera G. y Gladís Rúa J. por su formación no sólo académica sino personal. A Cristian por los momentos vividos en este camino. A Michael por su amistad incondicional y a mis demás familiares, amigos y profesores que han estado presentes a lo largo de este proceso.*

*Laura Sofía Velandia Acevedo.*

*A Yilcía, mi madre, y a Juliana, la dueña de mi corazón.*

*Heimer*

## **AGRADECIMIENTOS**

Especiales agradecimientos al ingeniero Jonatan Villamarín por su orientación, amistad, apoyo incondicional y paciencia, sin su ayuda y disposición este trabajo de grado no habría sido posible.

Al ingeniero Domingo Dueñas por guiarnos en este proceso, por su tiempo y sus conversaciones llenas de aprendizaje.

Al señor Paco Lagos jefe de seguridad del edificio Porto 100 y demás personal que con su actitud, colaboración y atención hicieron posible la toma de datos.

A Michael García, por su colaboración desinteresada en la toma de datos.

Al licenciado Ricardo Acevedo por las correcciones de sintaxis en el libro.

A Barbara Murphy por su colaboración con la traducción para los anexos.

A los ingenieros que hicieron parte de nuestra formación académica y personal y a nuestros compañeros y amigos que hicieron de ésta una de las mejores etapas de nuestra vida.

## CONTENIDO

Pág.

1. DE LAS TEORÍAS DEL FLUJO PEATONAL, EL SISTEMA BRT Y METODOLOGÍAS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO, UNA REVISIÓN CONCEPTUAL .....	20
1.1. CONCEPTOS RELACIONADOS CON CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO .....	20
1.1.1. Nivel de servicio peatonal: De acuerdo al Transit Capacity and Quality Service Manual .....	22
1.1.2. Espacio peatonal.....	23
1.1.3. Ancho efectivo.....	24
1.2. TEORÍA DEL FLUJO PEATONAL .....	24
1.2.1. Infraestructuras de flujo peatonal .....	24
1.2.2. Parámetros en el análisis del flujo peatonal .....	24
1.2.3. Relación velocidad – densidad.....	26
1.2.4. Relación flujo – densidad .....	26
1.2.5. Relación velocidad – flujo.....	28
1.2.6. Relación velocidad – espacio.....	28
1.3. SISTEMA DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO RÁPIDO (BRT).....	29
1.4. SISTEMA BRT EN BOGOTÁ – TRANSMILENIO .....	32
1.4.1. Comportamiento de los usuarios del BRT TransMilenio .....	34
1.5. METODOLOGÍA TCQSM PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN ESTACIONES BRT .....	35
1.6. METODOLOGÍA CCSP PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD Y CALIDAD DEL SERVICIO EN INFRAESTRUCTURAS PEATONALES .....	38
1.6.1. Cálculo de la capacidad .....	40
1.6.2. Cálculo del nivel de servicio .....	41
1.7. TIPOLOGÍAS DE DESARROLLO URBANO EN TORNO AL BRT .....	42

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACCESO/SALIDA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA BRT TRANSMILENIO .....	44
2.1. ZONA Y ÁREA DE ESTUDIO.....	44
2.2. ACCESO ESTUDIO (NORIENTAL CALLE 100) .....	47
2.2.1. Escalera .....	48
2.2.2. Rampas.....	50
2.2.3. Rampa intermedia.....	52
2.2.4. Rampa de acceso al vagón.....	54
2.2.5. Tablero .....	54
2.2.6. Baranda.....	56
3. RELACIONES ENTRE VARIABLES MACROSCÓPICAS DEL FLUJO PEATONAL.....	58
3.1. PROCEDIMIENTO, TOMA DE INFORMACIÓN.....	58
3.1.1. Prueba piloto de toma de información.....	59
3.1.2. Captura de la información .....	59
3.1.3. Tabulación y análisis de la información.....	63
3.2. VOLUMEN PEATONAL .....	63
3.2.1. Volumen peatonal en escaleras .....	64
3.2.2. Volumen peatonal en rampa de acceso .....	65
3.2.3. Volumen peatonal en tablero .....	66
3.3. DENSIDAD PEATONAL .....	67
3.3.1. Tamaño de la muestra .....	68
3.3.2. Densidad peatonal .....	68
3.4. VELOCIDAD PEATONAL .....	70
3.4.1. Tamaño de la muestra .....	70
3.4.2. Velocidad peatonal en escaleras .....	71
3.4.3. Velocidad peatonal en rampa de acceso .....	71
3.4.4. Velocidad peatonal en rampa intermedia.....	72
3.4.5. Velocidad peatonal en tablero.....	72
3.5. PROBABILIDAD NORMAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	73



3.6. RELACIONES ENTRE VARIABLES MACROSCÓPICAS DEL FLUJO PEATONAL .....	77
3.6.1. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la escalera .....	78
3.6.2. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la rampa de acceso .....	83
3.6.3. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la rampa intermedia.....	87
3.6.4. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en el tablero.....	91
4. COMPARACIÓN ENTRE LA RELACIÓN DE VARIABLES MACROSCÓPICAS OBTENIDAS PARA EL CASO DE LA ESTACIÓN CALLE 100 DE TRANSMILENIO Y LAS RESULTANTES EN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	94
5. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN LOS ACCESOS DE LA ESTACIÓN CALLE 100. METODOLOGÍA TCQSM 2013 Y CCSP 2011 .....	104
5.1. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN LOS ACCESOS DE LA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA TRANSMILENIO, METODOLOGÍA TCQSM 2013	104
5.1.1. Capacidad y nivel de servicio en el tablero, hora pico.....	105
5.1.2. Capacidad y nivel de servicio en la escalera, hora pico .....	105
5.1.3. Capacidad y nivel de servicio en rampas .....	106
5.2. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN EL ACCESO DE LA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA TRANSMILENIO, METODOLOGÍA CCSP 2011 .....	106
5.2.1. Cálculo de la capacidad en el tablero.....	106
5.2.2. Cálculo de la capacidad en la rampa .....	109
5.2.3. Nivel de servicio para el tablero .....	110
5.2.4. Nivel de servicio en la rampa intermedia.....	114
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6.1. CONCLUSIONES .....	116
6.2. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA.....	121

7. BIBLIOGRAFÍA.....	124
8. ANEXOS.....	131

## LISTA DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Niveles de servicio en pasillos .....	23
Imagen 2. Relación entre Velocidad y Densidad peatonales .....	26
Imagen 3. Relación entre Flujo peatonal y espacio peatonal.....	27
Imagen 4. Relación entre velocidad y flujo peatonal.....	28
Imagen 5. Relación entre velocidad y espacio.....	29
Imagen 6. Espectro de calidad de Transporte Público sobre llantas. ....	31
Imagen 7. Nivel de servicio en plataformas .....	36
Imagen 8. Método del nivel de servicio en escaleras.....	37
Imagen 9. Método de filas peatonales, ancho requerido en escaleras. ....	37
Imagen 10. Tendencia de altura en los predios de la zona de influencia de la estación. ....	45
Imagen 11. Plano de Ubicación, Estación Calle 100, ST.....	46
Imagen 12. Acceso nororiental de la estación de la calle 100, ST.....	47
Imagen 13. Vista en perfil, escalera.....	48
Imagen 14. Vista en perfil, escalera.....	48
Imagen 15. Escalera de acceso, estación Calle 100. ....	49
Imagen 16. Vista en planta de las rampas existentes en el acceso de la estación	50
Imagen 17. Vista en perfil de las rampas existentes en el acceso de la estación..	50
Imagen 18. Rampa de acceso. ....	51
Imagen 19. Rampa de acceso .....	52
Imagen 20. Características de la rampa intermedia.....	53
Imagen 21. Características de la rampa intermedia.....	53
Imagen 22. Rampa de acceso al vagón.....	54
Imagen 23. Vista en perfil del tablero.....	55
Imagen 24. Características del tablero .....	56
Imagen 25. Características de la baranda .....	56
Imagen 26. Características de la baranda .....	57
Imagen 27. Ubicación de los vendedores ambulantes en el acceso de la estación .....	61
Imagen 28. Método del nivel de servicio en escaleras.....	105

## LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Grafico 1. Metodología, toma de información .....	59
Grafico 2. Datos a recolectar. ....	62
Grafico 3. Volúmenes totales de ascenso y descenso en el acceso NO calle 100. .....	63
Grafico 4. Volúmenes de ascenso y descenso en escalera en hora pico. ....	64
Grafico 5. Volúmenes de ascenso y descenso en <i>escalera en hora valle</i> . ....	64
Grafico 6. Volúmenes de ascenso y descenso en rampa de acceso en hora pico. .....	65
Grafico 7. Volúmenes de ascenso y descenso en rampa de acceso en hora valle. .....	65
Grafico 8. Volúmenes de ascenso y descenso en el tablero en hora pico. ....	66
Grafico 9. Volúmenes de ascenso y descenso en el tablero en hora valle. ....	66
Grafico 10. Densidades en hora pico en las infraestructuras. ....	69
Grafico 11. Densidades en hora valle en las infraestructuras. ....	69
Grafico 12. Promedio de las V de ascenso y descenso, escalera, hora pico y valle. .....	71
Grafico 13. Promedio de las V ascenso-descenso, rampa acc., hora pico y valle.	71
Grafico 14. Promedio de las Velocidades de ascenso-descenso, rampa intermedia, hora pico y valle. ....	72
Grafico 15. Promedio de las V de ascenso y descenso, tablero, hora pico y valle. .....	72
Grafico 16. Normalización de la velocidad en escaleras en hora pico y valle, ascenso y descenso. ....	74
Grafico 17. Normalización de la velocidad en la rampa de acceso en hora pico y valle, ascenso y descenso .....	74
Grafico 18. Normalización de la velocidad en la rampa intermedia en hora pico y valle, ascenso y descenso .....	75
Grafico 19. Normalización de la velocidad en el tablero en hora pico y valle. ....	75
Grafico 20. Normalización de la densidad en hora pico. ....	76
Grafico 21. Normalización de la densidad en hora valle .....	77
Grafico 22. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Ascenso Escalera</i> . ....	78
Grafico 23. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Descenso Escalera</i> . ....	80
Grafico 24. Relaciones entre variables. <i>Hora valle. Ascenso Escalera</i> . ....	81
Grafico 25. Relaciones entre variables. <i>Hora valle. Descenso Escalera</i> . ....	82
Grafico 26. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Ascenso, rampa de acceso</i> . ..	83

Grafico 27. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Descenso, rampa de acceso.</i>	84
Grafico 28. Relaciones entre variables. <i>Hora Valle. Ascenso, rampa de acceso.</i>	85
Grafico 29. Relaciones entre variables. <i>Hora valle. Descenso, rampa de acceso.</i>	86
Grafico 30. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Ascenso, rampa intermedia</i>	87
Grafico 31. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Descenso, rampa intermedia.</i>	88
Grafico 32. Relaciones entre variables. <i>Hora Valle. Ascenso, rampa intermedia.</i>	89
Grafico 33. Relaciones entre variables. <i>Hora Valle. Descenso, rampa intermedia.</i>	90
Grafico 34. Relaciones entre variables. <i>Hora pico. Tablero del puente.</i>	91
Grafico 35. Relaciones entre variables. <i>Hora valle. Tablero del puente.</i>	92
Grafico 36. Relaciones entre variables macroscópicas en infraestructuras de flujo unidireccional, <i>de ascenso.</i>	97
Grafico 37. Relaciones entre variables macroscópicas en infraestructuras de flujo bidireccional, <i>de ascenso.</i>	99
Grafico 38. Modelo de Fruin para la circulación en escaleras en descenso.	100
Grafico 39. Relación velocidad – densidad, en infraestructuras de flujo unidireccional, <i>de descenso.</i>	100
Grafico 40. Relación velocidad – flujo, en infraestructuras de flujo unidireccional, <i>de descenso.</i>	102
Grafico 41. Relación flujo – densidad, en infraestructuras de flujo unidireccional, <i>de descenso.</i>	103
Grafico 42. Distribución según el género	143
Grafico 43. Comodidad en el acceso de la estación.	143
Grafico 44. Seguridad en el acceso de la estación.	144
Grafico 45. Carriles peatonales exclusivos para personas de la tercera edad.	145
Grafico 46. Rampas y escaleras eléctricas.	146
Grafico 47. Semáforos peatonales.	147
Grafico 48. Comportamiento de usuarios	147

## LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. NS y variables macroscópicas. ....	40
Cuadro 2. Vel media ideal para peatones a flujo libre bajo diferentes pendientes U <sub>FL</sub> .....	41
Cuadro 3. Velocidad peatonal para condiciones locales UT .....	42
Cuadro 4. Equivalente en hombre joven por diferentes edades y géneros.....	108
Cuadro 5. Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía Fpe.....	108
Cuadro 6. Factor de ajuste por distribución direccional y tipo de vía. ....	109
Cuadro 7. Factor de corrección por efecto de utilización de la capacidad FV/C. .	111
Cuadro 8. Factores de equivalencia para peatones con objetos. ....	111
Cuadro 9. Factor de ajuste por sector urbano .....	112
Cuadro 10. Factor de ajuste por ancho restringido. ....	112
Cuadro 11. Velocidad peatonal para condiciones locales UT .....	113
Cuadro 12. NS y variables macroscópicas. ....	114
Cuadro 13. Cuadro resumen, resultados obtenidos.....	119
Cuadro 14. Continuación cuadro resumen, resultados obtenidos.....	120
Cuadro 15. Factor de corrección por efecto de utilización de la capacidad FV/C. .....	133
Cuadro 16. Equivalente en hombre joven por diferentes edades y géneros.....	133
Cuadro 17. Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía Fpe.....	134
Cuadro 18. Factores de equivalencia para peatones con objetos. ....	135
Cuadro 19. Factores de equivalencia para peatones con acompañantes. ....	135
Cuadro 20. Factor de ajuste por distribución direccional y tipo de vía. ....	136
Cuadro 21. Factor de ajuste por sector urbano .....	136
Cuadro 22. Factor de ajuste por ancho restringido. ....	137

## RESUMEN

El desarrollo de una ciudad está condicionado en gran medida, por la facilidad con la que los individuos pueden acceder a determinados lugares y equipamientos. De acuerdo con los criterios de sostenibilidad con los que las ciudades deben ser planificadas, esta accesibilidad debe garantizarse empleando prioritariamente modos de transporte sostenibles, dentro de los que se encuentran los sistemas BRT.

Los sistemas BRT (Bus Rapid Transit), proporcionan un sistema de transporte público eficiente y costo-efectivo, crucial para que los usuarios puedan acceder a bienes y servicios en las ciudades. Su gran atractivo se basa en autobuses de alta calidad, carriles exclusivos, y amplias estaciones, los cuales ofrecen servicios rápidos, cómodos, seguros y rentables, con capacidad similar a la del metro y disminución de los niveles de congestión, costos de operación vehicular y deterioro del medio ambiente.

La ciudad de Bogotá Colombia, cuenta con el sistema BRT Transmilenio (Empresa de Transporte del Tercer Milenio S. A.), considerado uno de los más completos del mundo por sus múltiples características y a la implementación de medidas que complementan el Transporte Público, como lo son su amplia red de ciclorutas, el sistema de pico y placa y a futuro el metro cable.

El sistema Transmilenio ofrece estructuras especializados para el acceso de los usuarios a las estaciones del sistema, como lo son rampas, escaleras, puentes, túneles peatonales, ascensores y pasos cebra diseñados especialmente para facilitar el acceso rápido y cómodo de los usuarios.

Por otro lado, la teoría del flujo peatonal con la caracterización de variables macroscópicas de corrientes peatonales, permite evaluar las condiciones de operación de una infraestructura de transporte, relacionando parámetros de velocidad y densidad, flujo y densidad, velocidad y flujo y velocidad y espacio, los cuales brindan una visión clara acerca de la operación, la capacidad y el nivel de servicio de la infraestructura.

Esta investigación evaluó las condiciones actuales de operación del acceso/salida nororiental de la estación Calle 100 del sistema BRT Transmilenio, en la ciudad de Bogotá Colombia, realizando un inventario de infraestructuras y caracterizando las

variables macroscópicas del flujo peatonal, tales como velocidad, densidad y volúmenes en sus infraestructuras a desnivel (puente, rampas y escalera) y obtuvo una comparación entre la relación de variables obtenidas en el caso estudio y las resultantes en la revisión bibliográfica. Además de ello, se determinó el nivel de servicio de la estación estudio usando metodologías extranjeras como el TCQSM 2013 y del entorno Colombiano como el CCSP 2011, logrando realizar comparaciones entre estas y establecer sus principales diferencias. Como colofón se realizó un estudio de percepción a los usuarios del acceso, el cual por medio de encuestas y entrevistas, permitió conocer el nivel de seguridad y comodidad que experimentan los peatones en el acceso, evaluar su percepción ante posibles cambios operativos y de infraestructura y valorar el comportamiento de los usuarios en el sistema.

Estos resultados proveen información de diseño para instalaciones futuras o para la implementación de nuevas estrategias operacionales, tendientes a mejorar el flujo peatonal en los accesos de las estaciones del sistema TransMilenio y sistemas BRT.

**Palabras clave:** Movilidad, estación, peatón, BRT, TransMilenio, Transporte, Tránsito, Sostenibilidad.



## INTRODUCCIÓN

El transporte desempeña un papel primordial en el desarrollo de la sociedad al permitir una integración real de personas, bienes y actividades económicas. Su relación con las necesidades del mundo actual permite el avance de los diferentes sectores de producción. El crecimiento poblacional acelerado de las últimas décadas alrededor del mundo y la creciente preocupación que se tiene por los impactos que generan las actividades humanas en el medio ambiente, ha llevado a la sociedad a la búsqueda de sistemas de transporte eficientes y de bajo impacto ambiental que respondan a la necesidad de movilización de miles o millones de personas dentro y alrededor de centros urbanos importantes; es aquí donde los sistemas de transporte masivos como el BRT brindan una solución costo efectiva y ambientalmente sostenible, lo cual también tiene un impacto en el desarrollo económico, urbano, y en muchas ocasiones mejoras en la calidad de vida de los habitantes.

La acción de caminar es el modo de transporte indispensable en el inicio, desarrollo y final de las actividades de interacción humana, por tanto la importancia de la integración de este con otros modos, el valor que se le debe dar a su uso y la calidad de las infraestructuras destinadas a este, permiten el avance de las ciudades hacia un entorno amigable con el peatón; el presente trabajo de investigación se centra fundamentalmente en la integración del modo peatonal con sistemas de transporte masivo BRT y realiza una evaluación de las condiciones actuales de operación de los accesos y/o salidas de las estaciones específicamente en las instalaciones de dicho sistema para el caso de la estación Calle 100 del sistema TransMilenio en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia , para proveer información de diseño para instalaciones futuras; dicho fin se logra mediante una caracterización de las variables macroscópicas del flujo peatonal en el puente Nor-Oriental.

El trabajo se vale de 6 capítulos para desarrollar la investigación y presentar los resultados correspondientes.

El capítulo 1 presenta al lector los conceptos básicos que pondrán en contexto los diferentes aspectos del trabajo general, como lo son: nociones del flujo peatonal, generalidades del BRT y su importancia en las ciudades, una descripción del sistema TransMilenio como sistema BRT en Bogotá, una revisión de la

metodología TCQSM y CCSP, para la evaluación de la calidad y el nivel servicio en estaciones de transporte público, entre otros aspectos.

El capítulo 2, exhibe los resultados del inventario realizado a las infraestructuras observadas y la zona de estudio.

El capítulo 3, muestra la metodología utilizada para la toma de datos, los procedimientos de procesamiento para su uso en el proyecto, expone los resultados obtenidos en los aforos y las relaciones entre variables macroscópicas producto de la información tomada en campo.

El capítulo 4, realiza una comparación entre los resultados obtenidos en la caracterización de las variables y algunos modelos de la revisión bibliográfica.

El capítulo 5, permite observar la obtención de la capacidad y nivel de servicio de los accesos de la estación por la metodología del TCQSM y el CCSP.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones, las recomendaciones del estudio y el posible camino a seguir para futuras investigaciones, que se basen o continúen con la línea de investigación del presente trabajo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar las principales variables macroscópicas que presenta el flujo peatonal en accesos y/o salidas de la estación Calle 100 del Sistema TransMilenio.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las características físicas de los accesos y/o salidas (tablero de puentes, rampas y/o escaleras) de la estación Calle 100, del Sistema de BRT, TransMilenio.
- Determinar las relaciones de velocidad y densidad peatonal, velocidad y flujo peatonal y densidad y flujo peatonal, en puentes (tableros) y rampas y/o escaleras existentes en accesos y/o salidas de la estación Calle 100 del Sistema TransMilenio en la ciudad de Bogotá D.C.
- Realizar una comparación entre la relación de variables obtenidas para el caso de la estación Calle 100 de TransMilenio y las resultantes en la revisión bibliográfica.

## **1. DE LAS TEORÍAS DEL FLUJO PEATONAL, EL SISTEMA BRT Y METODOLOGÍAS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO, UNA REVISIÓN CONCEPTUAL**

“La posibilidad de acceder a trabajos, educación y servicios públicos es una parte fundamental del desarrollo humano. Un sistema de transporte público eficiente y costo-efectivo, lo que hace en esencia es conectar a la gente con su vida diaria. ...Un sistema de transporte público de alta calidad sigue siendo un elemento indispensable de la creación de una ciudad donde las personas y la comunidad son primero.”<sup>1</sup>

El presente capítulo esboza los conceptos básicos que el lector debe tener en cuenta para poder comprender la caracterización de la movilidad peatonal en accesos y salidas de una estación BRT. Inicialmente se relacionarán conceptos afines a capacidad y niveles de servicio, referentes a diferentes metodologías para determinar los anteriores factores en accesos a estaciones de BRT. Estos conceptos concernientes a la teoría del flujo peatonal son específicamente las variables macroscópicas de los flujos peatonales en estaciones BRT, cómo es su caracterización, información conexas a los sistemas BRT (identificando sus ventajas y desventajas, metodologías, técnicas y diseño de estaciones) Se dispondrá además información concerniente a las características principales del sistema BRT de la ciudad de Bogotá Colombia. Para finalizar, se vinculará una breve descripción de la metodología TCQSM para determinar la capacidad y niveles de servicio en estaciones BRT y el comportamiento de los peatones en estas estaciones.

### **1.1. CONCEPTOS RELACIONADOS CON CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO**

Debido a su importancia, se debe abordar el tema de capacidad en el sistema BRT y en los distintos componentes de su infraestructura. Para el presente documento la capacidad de las infraestructuras peatonales de acceso a las estaciones serán evaluadas, pero para esto se deben tener claros conceptos que dan una idea de la relevancia de esta labor así como la metodología usada para este fin.

---

<sup>1</sup> INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY. Guía de planificación de sistemas BRT. New York, USA. 2010.

Algunos de los factores que menciona el TCQSM tercera edición y por los cuales los operadores de transporte de pasajeros consideran necesario evaluar la condición de capacidad de sus sistemas, son los siguientes:

- Gestionar cargas de pasajeros por vehículo.
- Pronosticar los efectos de los cambios en tarifas, vehículos, etc.
- Analizar la operación de las vías principales donde funcionan los sistemas
- Servicio en eventos especiales

Y los factores que aplicarían para las infraestructuras peatonales de acceso a la estación son:

- Gerenciamiento del sistema de transporte, al ser estas infraestructuras un elemento fundamental, se debe controlar y medir que su funcionamiento sea adecuado y armonioso con el resto del sistema.
- Mejoramiento de la velocidad y la confiabilidad, en este caso se buscaría que la velocidad de los peatones sea adecuada para las necesidades de estos y las características del sistema que influyen en ella.
- Planeación para el futuro, el mejoramiento y construcción de nuevas infraestructuras peatonales debe ser constante para mantenerse al día con una demanda creciente como es la de TransMilenio y que se verá afectada por la creación de nuevos sistemas de transporte en la ciudad (metro, tren de cercanías, etc.) que se complementarán con TransMilenio.

Para determinar la capacidad y el nivel de servicio de las infraestructuras peatonales se encuentran varias metodologías que pueden dar resultados favorables. Al realizar una revisión bibliográfica se pueden referenciar documentos como el Highway Capacity Manual 2010,<sup>2</sup> el Transit Capacity Quality Service Manual 2013<sup>3</sup> y modelos de flujo peatonal como el de Fruin<sup>4</sup> y Pushkarev<sup>5</sup>, entre otros.

---

<sup>2</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual (HCM). National Research Council, Washington, DC. 2010.

<sup>3</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.

<sup>4</sup> FRUIN, J. and STRAKOSCH, G. Pedestrian planning and design. Mobile, Ala.: Elevator World. 1987.

<sup>5</sup> PUSHKAREV, Boris and ZUPAN, Jeffrey. Urban Space for Pedestrians. The MIT Press, Cambridge, Mass. 1975.

Las investigaciones referenciadas anteriormente, tienen como particularidad que fueron realizadas en países desarrollados y con características diferentes a las del medio Colombiano, siendo este un factor determinante en los resultados y condicionante a la hora de plantear soluciones. En Colombia, existe una metodología adaptada al entorno propio, desarrollada en la UPTC, por Dueñas y Guio,<sup>6</sup> conocida como el CCSP, (Método Colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales).

Otro concepto fundamental que cabe resaltar, es la capacidad de diseño de una estación, la cual se determina con el volumen de pasajeros en horarios de máxima demanda. Este mismo parámetro se tendrá en cuenta en los diseños de elementos en las estaciones. En el caso de la metodología TCQSM, esta se fundamenta en buscar un nivel de servicio deseable en lugar de buscar una capacidad máxima posible y un nivel de servicio bajo.

Por otro lado, se deben tener claras las características de la demanda de pasajeros y cómo esta determina la capacidad del sistema en general, como resultado de sus variaciones a lo largo del tiempo y durante el día. Cabe mencionar que hay factores tanto demográficos (sexo, edad, ocupación, etc.), como geográficos (uso de suelos) y que los resultados estarán en función de los mismos. Partiendo de lo dicho, se mencionan a continuación conceptos básicos que se usarán en el desarrollo del trabajo.

**1.1.1. Nivel de servicio peatonal: De acuerdo al Transit Capacity and Quality Service Manual**, los niveles de servicio (NS) peatonal, proporcionan un medio útil para evaluar la capacidad y comodidad de un espacio peatonal activo, es un método mediante el cual se valora el rendimiento de una infraestructura de transporte, en este caso, infraestructuras peatonales. Los rangos de NS peatonales relacionados con la caminata se basan en la libertad de seleccionar las velocidades de marcha deseadas y la capacidad de evitar o sobrepasar a los peatones con movimiento más lento.

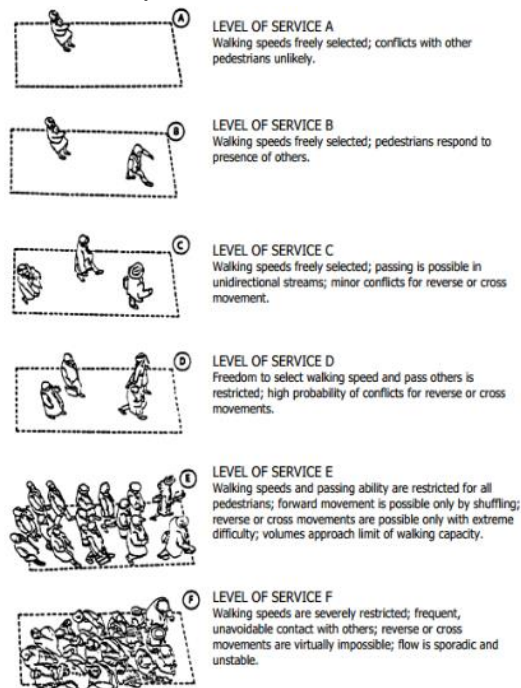
Los niveles de servicio para las áreas de circulación peatonal se basan en el espacio disponible permanente, comodidad percibida, seguridad y la capacidad de

---

<sup>6</sup> DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

maniobrar de una ubicación a otra.<sup>7</sup> Las letras con las que se denominan los NS peatonales van de A a F, nomenclatura generalizada en las distintas metodologías existentes, con A que representa una condición sin obstáculos y F que representa una condición indeseable en la que el movimiento de los peatones está severamente restringido. La imagen 1 relaciona gráficamente los NS peatonales en pasillos.

Imagen 1. Niveles de servicio en pasillos



Fuente: TRB 2000

**1.1.2. Espacio peatonal:** corresponde al área promedio, que usa cada peatón en un área determinada. Se expresa en pies o metros cuadrados por peatón; cabe mencionar que éste es inverso a la densidad, siendo una unidad más práctica para el estudio de estructuras peatonales. Se considera además que el espacio que normalmente requieren las personas aumenta con la velocidad de caminata, el tipo y características específicas de los peatones.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.

<sup>8</sup> MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

**1.1.3. Ancho efectivo:** es la porción de un ancho de una infraestructura peatonal usada normalmente por los peatones, la cual excluye áreas ocupadas por obstrucciones físicas y espacios de amortiguamiento adyacentes a las paredes.<sup>9</sup>

## **1.2. TEORÍA DEL FLUJO PEATONAL**

Guio<sup>10</sup> menciona que sin importar el medio de transporte del cual decida disponer el usuario, éste en algún momento de su viaje será peatón y brindarle a este una ciudad caminable, permite la interacción de los ciudadanos y el fortalecimiento del tejido social.

**1.2.1. Infraestructuras de flujo peatonal:** en los estudios de flujo peatonal, se pueden distinguir dos tipos de infraestructuras, estas pueden ser infraestructuras de flujo continuo, entre las cuales se encuentran aceras, senderos peatonales, escaleras, vías exclusivas, entre otras, e infraestructura de flujo discontinuo, entre las cuales se relacionan los pasos de cebra en las intersecciones semaforizadas y los cruces peatonales en intersecciones no semaforizadas.

**1.2.2. Parámetros en el análisis del flujo peatonal:** entre las principales variables macroscópicas del flujo peatonal, se encuentran los volúmenes peatonales, la velocidad de caminata y la densidad.

- **Volúmenes peatonales:** relaciona el número de peatones que pasan por un punto de una infraestructura durante un periodo de tiempo determinado. El volumen peatonal debe considerar el ancho de la sección transversal, generalmente se expresa en términos de ancho unitario de un metro. Suele expresarse en pe/h/m.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

<sup>10</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia 2010. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129).

<sup>11</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia 2010. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129).



- **Velocidad de caminata:** este proceso representa la relación entre la distancia caminada por un peatón y el tiempo que este emplea en hacerlo. Según Guio (2008), la velocidad de caminata es la variable de flujo más importante ya que permite prever condiciones operativas de la infraestructura. Esta generalmente se encuentra expresada en m/s.<sup>12</sup>

La velocidad de caminata en el flujo peatonal presenta variaciones para cada país según la metodología utilizada. En el Highway Capacity Manual 2010<sup>13</sup> por ejemplo, la velocidad de caminata peatonal es de 1,2m/s, este determina también que el número de peatones pertenecientes a la tercera edad tiene gran influencia en la velocidad de marcha, (si más del 20% de los peatones corresponden a la tercera de edad, la velocidad de caminata se reduce a 1.0 m/s). En Australia, Bennett<sup>14</sup> definió que la velocidad media de marcha es de 1,24 m/s. En Jordania, Tarawneh<sup>15</sup> recomienda una velocidad de caminata de 1,11 m/s, además definió que los peatones que caminan en grupos presentan una velocidad de marcha más alta que los que caminan individualmente, los peatones jóvenes tienen una velocidad de caminata más alta que los peatones de avanzada edad, y que los hombres caminan más rápido que las mujeres. En la India, Chandra y Bharti<sup>16</sup> también concluyeron que los hombres caminan más rápido que las mujeres. Gates<sup>17</sup> realizó un estudio en Wisconsin y observó que los peatones individuales caminan más rápido que los peatones que caminan en grupos, este metodológicamente recomienda además una velocidad de caminata de 1,2 m/s.

- **Densidad y espacio peatonal:** permite medir la ocupación del espacio. Es la relación entre el número promedio de personas por unidad de área, en un

---

<sup>12</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia 2010. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129).

<sup>13</sup>TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual (HCM). National Research Council, Washington, DC. 2010.

<sup>14</sup>BENNETT, S., FELTON, A., AKCELIK, R. Pedestrian movement characteristics at signalized intersections, Proceedings of the 23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2001), Monash University, Melbourne, Australia, December 2001.

<sup>15</sup>TARAWNEH, M.S. Evaluation of Pedestrian Speed in Jordan with Investigation of Some Contributing Factors. Journal of Safety Research, 2001. 32(2), 229-236.

<sup>16</sup>CHANDRA, S., BHARTI, A.K. Speed Distribution Curves for Pedestrians during Walking and Crossing. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. 104, 660-667.

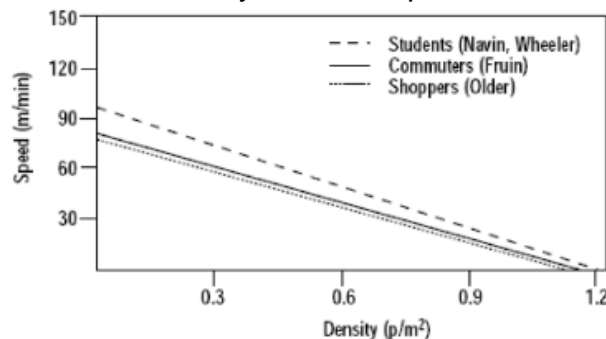
<sup>17</sup>GATES, T.J., NOYCE, D.A., BILL, A.R., Ee, N.V. Recommended Walking Speeds For Pedestrian Clearance Timing Based On Pedestrian Characteristics, Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM. 2006.

instante determinado. Se expresa en  $\text{pe}/\text{m}^2$ . Por otro lado, el espacio peatonal es el área promedio usada por cada peatón en un instante determinado.<sup>18</sup>

**1.2.3. Relación velocidad – densidad:** ésta relación es similar a la del flujo vehicular, el volumen y la densidad son inversamente proporcionales a la velocidad. Cuando la densidad incrementa y el espacio peatonal desciende, el grado de movilidad entre cada individuo desciende.<sup>19</sup>

La imagen 2, permite observar la relación entre velocidad y densidad para tres tipos de peatones: estudiantes, viajeros y compradores.

Imagen 2. Relación entre Velocidad y Densidad peatonales



Fuente: HCM 2010.

**1.2.4. Relación flujo – densidad:** La relación entre velocidad, densidad y flujo peatonal se describe con la siguiente ecuación:

$$V = S * D$$

Donde:

V = Flujo peatonal por unidad de ancho ( $\text{p}/\text{m}/\text{min}$ );

S = Velocidad peatonal ( $\text{m}/\text{min}$ ); y

D = Densidad peatonal ( $\text{p}/\text{m}^2$ ).

<sup>18</sup>GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129). 2010. [En Línea] <http://dx.doi.org/10.19053/01211129.1366>

<sup>19</sup> MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

Otra expresión que se puede usar para determinar el “flujo peatonal por unidad de ancho” es el recíproco de la densidad, o espacio, ésta se relaciona a continuación:

$$V = \frac{S}{M}$$

Donde:

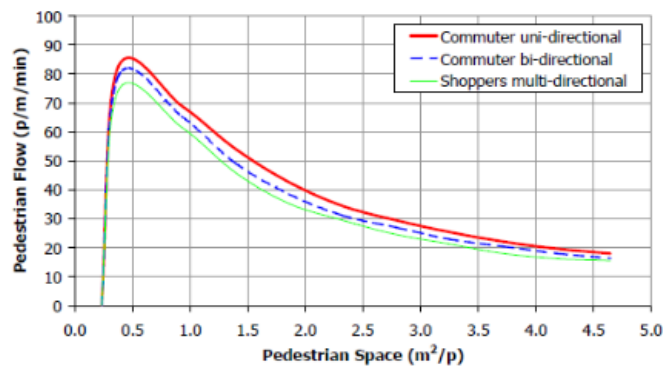
V = Flujo peatonal por unidad de ancho (p/m/min);

S = Velocidad peatonal (m/min); y

M = Espacio peatonal ( $m^2/p$ ) ajustado como sea apropiado para las características peatonales.

La Imagen 3 permite observar la relación básica entre el flujo y espacio peatonal. La condición del flujo máximo representa la capacidad de la estructura a desnivel como instalación; cuando el flujo está cercano a la capacidad de esta, cada peatón en movimiento requiere un espacio promedio de 0.4 y 0.9  $m^2/p$ . Cuando el espacio es reducido a menos de 0.4  $m^2/p$ , la tasa de flujo descende. Todos los movimientos efectivamente se detienen en la distribución del mínimo espacio de 0.2 a 0.3  $m^2/p$ . Lo anterior muestra que el flujo peatonal se puede evaluar cuantitativamente por medio del concepto de Nivel de Servicio, similar al análisis de tránsito vehicular.<sup>20</sup>

Imagen 3. Relación entre Flujo peatonal y espacio peatonal.

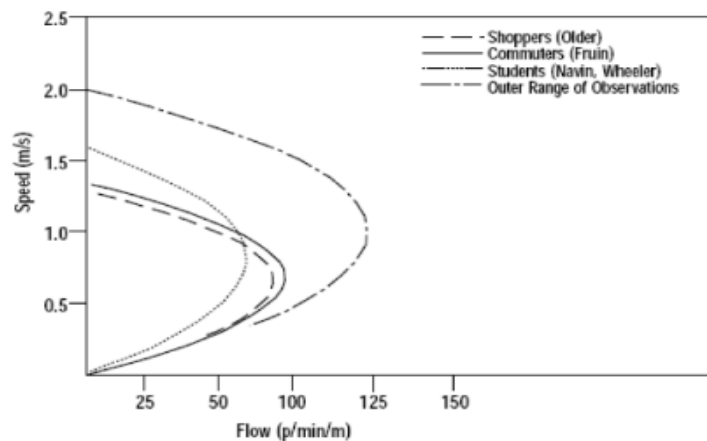


Fuente: Adaptado de Pushkarev Y Zupan (1971)

<sup>20</sup> MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

**1.2.5. Relación velocidad – flujo:** el flujo y la velocidad son inversamente proporcionales debido a que las interacciones entre peatones son más estrechas. Cuando un nivel crítico de usuarios concurren, el movimiento se torna más difícil de tal forma que la velocidad descende. La imagen 4, permite observar la relación existente entre la velocidad y el flujo peatonal, de ésta se logra concluir que cuando se presenta una baja cantidad de peatones en la estructura o cuando los peatones están en niveles de flujo bajos, hay espacio para lograr velocidades de caminata mayores.

Imagen 4. Relación entre velocidad y flujo peatonal

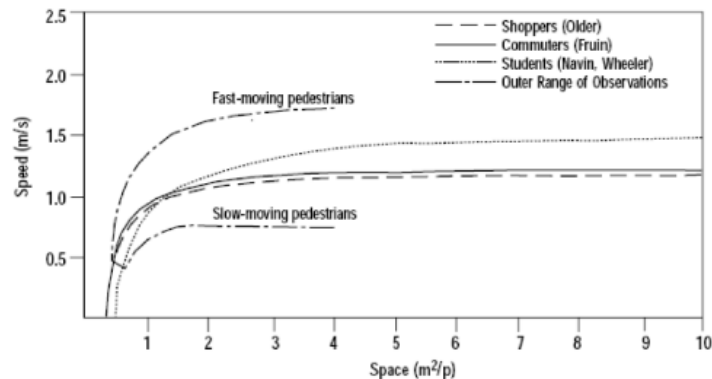


Fuente: Adaptado de Pushkarev Y Zupan (1971)

**1.2.6. Relación velocidad – espacio:** esta relación permite determinar que es necesario garantizar un espacio adecuado para que los peatones puedan lograr sus niveles deseados de caminata, si éste es muy reducido, los peatones difícilmente podrán desplazarse a gusto.

La imagen 5, muestra la relación entre la velocidad de caminata y el espacio disponible, en ella se puede divisar que cuando hay un espacio promedio menor de  $1.5\text{m}^2/\text{p}$ , los peatones no logran una velocidad deseada, ni siquiera los más lentos.

Imagen 5. Relación entre velocidad y espacio



Fuente: Adaptado de Pushkarev Y Zupan (1971)

### 1.3. SISTEMA DE BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO RÁPIDO (BRT)

El transporte público, es un medio crucial para que los ciudadanos puedan acceder a bienes y servicios en las ciudades, el sistema BRT (Bus Rapid Transit) o Buses de Transporte Público Rápido, es definido como:

“Un sistema de transporte basado en autobuses de alta calidad que ofrece servicios rápidos, cómodos y rentables con capacidades similares al sistema metro. Dichas cualidades se logran a través de la disposición de carriles exclusivos, con vías y estaciones características típicamente alineadas con el centro de la carretera, cobro de tarifas fuera del vehículo y operaciones rápidas y frecuentes”<sup>21</sup>.

El BRT esencialmente emula las características de desempeño y ameneidad de un sistema moderno basado en rieles pero a una fracción del costo de un metro. Los sistemas BRT han demostrado ser un mecanismo de costo-beneficio favorable para que las ciudades desarrollen rápidamente un sistema de transporte público en red que pueda ofrecer un servicio rápido y de alta calidad. En total aproximadamente 40 ciudades en 6 continentes han implementado sistemas BRT y otra gran cantidad está en planificación y/o construcción.<sup>22</sup> El crecimiento del

<sup>21</sup>INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY, What is BRT?. New York, USA. 2017. [En línea] <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/> [Citado el 31 de Diciembre de 2017]

<sup>22</sup> FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea]

BRT como una opción efectiva, se relaciona en gran medida a los bajos costos de infraestructura y el corto tiempo que demora su implementación.

Entre los elementos que constituyen el concepto BRT, se encuentran:<sup>23</sup>

- *Infraestructura de alta calidad*, con una red integrada de carriles segregados, estaciones cómodas y seguras a nivel plataforma – piso del vehículo, y de fácil conexión modal.
- *Operaciones eficientes*, con servicio frecuente, rápido, de alta capacidad, de fácil acceso, integración tarifaria entre rutas y recaudo antes del abordaje.
- *Estructura de negocios*, con procesos licitados competitiva y transparentemente, gestión eficiente incluyendo la eliminación de subsidios del sector público y seguimiento del control de calidad de una entidad independiente al sistema.
- *Tecnología sofisticada*, vehículos de bajas emisiones, bajos niveles de ruido, recaudo y verificación de tarifa automática, localización automática de vehículos (ITS), prioridad semafórica, entre otros.
- *Excelencia en mercadeo y servicio al cliente*, facilidad de acceso entre el sistema y otras opciones de movilidad como bicicleta, taxi, pie; mapas de rutas, señalización, pantallas con información en tiempo real, infraestructura especial para el acceso de personas con movilidad reducida, niños o personas de la tercera edad, identidad distintiva del sistema y excelencia en el servicio al cliente.

Por otro lado, Levinson<sup>24</sup> propuso siete componentes principales de los sistemas BRT, estos son: carriles segregados, estaciones, vehículos, servicios, estructura de rutas de servicio, recaudo de tarifas y sistemas de transporte inteligentes. Las circunstancias de cada ciudad dictan que todas las características no son necesarias o asequibles por las restricciones de costos. No obstante, servir las necesidades de los clientes es la prioridad y la premisa que todas las ciudades deberían seguir para conseguir un Sistema de Transporte exitoso.

---

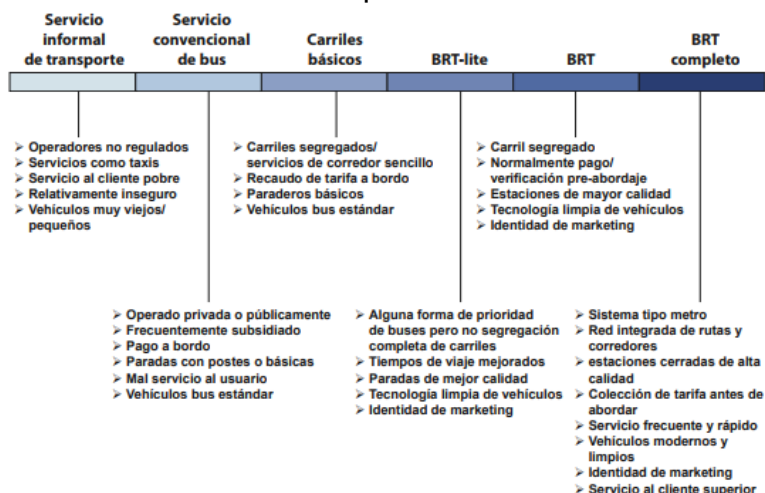
<https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

<sup>23</sup> FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea] <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

<sup>24</sup> LEVINSON, H. ZIMMERMAN, S. CLINGER, J. GAST, J. RUTHERFORD, S. y BRUHN, E. Bus rapid transit, volumen 1: Implementation guidelines. TCRP Report 90. Washington: US Transit Cooperative Research Program. 2003.

La imagen 6, permite observar las principales diferencias en el espectro de calidad de Transporte Público sobre llantas.

Imagen 6. Espectro de calidad de Transporte Público sobre llantas.



Fuente: EMBARQ. "Social, Environmental and Economic Impacts of BRT Systems".

Una desventaja que presentan los sistemas BRT, es el rápido crecimiento de las ciudades, en cuanto a población y parque automotor, lo cual presiona al sistema a estar en constante ampliación o mejora, con el fin de suplir las necesidades de los usuarios. Un factor que intensifica esta falencia es la falta de cultura ciudadana que causa malos comportamientos en las estaciones y en el uso de la infraestructura.

Entre otras dificultades que se presentan están el riesgo económico existente de convertirse en un sistema no rentable, como es el caso de MyCiti en Ciudad del Cabo;<sup>25</sup> el aumento en el grado de accidentalidad y el aumento en los tiempos de viaje para los usuarios privados que usan el mismo corredor. (Casos en los cuales los sistemas no cuentan con exclusividad en sus carriles).<sup>26</sup>

<sup>25</sup> GOLDWYN Eric. The Limits of bus rapid transit: a Cape Town case study. Citylab, Columbia University. 2013. [En línea] <https://www.citylab.com/transportation/2013/03/limits-bus-rapid-transit-cape-town-case-study/4968/> [Citado el 25 de Enero de 2018]

<sup>26</sup> EMBARQ. Social, Environmental and Economic Impacts of BRT Systems. World Resources Institute. [En línea] <http://www.wri.org/cities/sites/default/files/Social-Environmental-Economic-Impacts-BRT-Bus-Rapid-Transit-EMBARQ.pdf> [Citado el 25 de Enero de 2018]

#### 1.4. SISTEMA BRT EN BOGOTÁ – TRANSMILENIO

En las décadas de los años 80 y 90, debido a su extensión territorial, número de habitantes y que su parque automotor aumentaban considerablemente, empezaron a atenuarse los problemas de movilidad en la ciudad de Bogotá, ya que la ciudad seguía conservando la infraestructura de la época de los 60. Seguidamente el caos, la ineficiencia, la incomodidad y la contaminación se apoderaron de la ciudad. A finales del siglo XX, era muy notable que no existía un Sistema de Transporte que sirviera como alternativa de uso del transporte particular; es aquí donde se consideró un nuevo Sistema de Transporte Masivo el cual permitiera remediar la problemática existente en la ciudad. Se plantea entonces la construcción de infraestructura especial y exclusiva, a partir de corredores troncales, con carriles de uso único, estaciones, plazoletas de acceso peatonal y ciclorutas diseñadas con el fin de mejorar el acceso peatonal del sistema.<sup>27</sup>

En 1999 se designó a TRANSMILENIO S.A. (Empresa de Transporte del Tercer Milenio S. A.) como entidad encargada de coordinar los diferentes actores, planear, gestionar y controlar la prestación del servicio público de transporte masivo urbano de pasajeros en la ciudad de Bogotá. En diciembre del año 2000, se inauguró la primera ruta que comenzó a operar con 14 buses entre las calles ochenta y sexta por la troncal de la Caracas. Actualmente el sistema cuenta con 112.9 Kms de vía en troncal en operación, 11 troncales en operación, 134 estaciones, 9 portales y 9 patio garajes. Además el Sistema tiene a su servicio 16 cicloparqueaderos con 3578 puestos en total. Espacios seguros, cómodos y de fácil acceso para todas las personas que utilizan la bicicleta como una alternativa formal de transporte para la movilidad diaria.<sup>28</sup>

TransMilenio actualmente es un sistema BRT completo,<sup>29</sup> es importante precisar que sólo existen dos ciudades en el mundo con sistemas BRT completos, Bogotá

---

<sup>27</sup> DIARIO EL TIEMPO. El primer día del TransMilenio, Archivo 2014. [En línea] <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14687636> [Citado el 25 de Enero de 2018].

<sup>28</sup> TRANSMILENIO. Historia. Sitio Web, [En línea: [http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la\\_entidad/nuestra\\_entidad/Historia](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia) [Citado el 25 de Enero de 2018]

<sup>29</sup> FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea]



Colombia y Curitiba Brasil. Esto se atribuye al mayor compromiso político hacia un transporte masivo de calidad.<sup>30</sup> TransMilenio cuenta con carriles exclusivos, dotados de infraestructura especializada para el acceso de los pasajeros al Sistema: estaciones, puentes y túneles peatonales, andenes, plazoletas, y alamedas.

Adicionalmente, cuenta con estaciones diseñadas especialmente para facilitar el acceso rápido y cómodo de los pasajeros; estas son los únicos puntos de parada de los servicios troncales para recoger y dejar pasajeros. Son espacios cerrados y cubiertos, construidas en aluminio, concreto, acero y vidrio, con taquillas a la entrada, y con acceso seguro para los usuarios a través de semáforos, puentes o túneles peatonales. Además, las estaciones cuentan con una adecuada señalización, mobiliario e iluminación que las convierten en espacios agradables y seguros. El nivel del piso de las estaciones coincide con el nivel del piso interno de los vehículos, esto permite la rápida entrada y salida de todas las personas, especialmente personas de tercera edad y personas en condición de discapacidad.

Como complemento a este enorme ejercicio, el sistema cuenta con patios de operación, mantenimiento y estacionamiento los cuales cuentan con garajes adecuados para cada una de las operaciones que allí se llevan a cabo.<sup>31</sup>

De manera simultánea, Bogotá viene implementando medidas que complementan el uso del transporte público, entre ellas se destacan 300km de nuevas ciclo rutas, mejoras de espacio para peatones y espacio público, cierre de calles los domingos para el uso de bicicletas y peatones y el día sin carro más grande del mundo. En Bogotá se utilizan medidas de restricción vehicular a través de un programa que sólo permite el uso de vehículos en ciertos días, basándose en el número de placa del automóvil.<sup>32</sup>

---

<https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

<sup>30</sup> FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea] <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

<sup>31</sup> TRANSMILENIO. Historia. Sitio Web, [En línea: [http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la\\_entidad/nuestra\\_entidad/Historia](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia) [Citado el 25 de Enero de 2018]

<sup>32</sup> FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea]

Según el CEPAL<sup>33</sup> de las Naciones Unidas, la experiencia de Bogotá, Colombia; con sus particularidades del BRT, despierta admiración a nivel mundial y se ha convertido en un modelo a seguir. Destacan que éste comparte características de un BRT ideal, entre las que cabe mencionar: estaciones cerradas, buses biarticulados con puertas al nivel de las plataformas elevadas y una estructura de corredores troncales y alimentadores. Sin embargo, estas características no acotan la definición de sistema BRT. Resaltan además, la integración exitosa entre sus sistemas de transporte, logrando un salto cualitativo en las operaciones y sobreponiéndose a las limitaciones económicas que hacían imposible la selección de un metro u otro sistema.

**1.4.1. Comportamiento de los usuarios del BRT TransMilenio:** en general las estaciones del sistema BRT TransMilenio de la ciudad de Bogotá, presentan constantemente malos comportamientos de los usuarios. En un estudio que realizó el diario El Tiempo en el año 2014,<sup>34</sup> se relaciona que el principal comportamiento considerado como inapropiado es el irrespeto de la fila para comprar los pasajes e ingresar a los articulados, seguidamente se encuentra el ingreso inapropiado por los torniquetes, ya que hay mucha gente que evade el pago del sistema. Por otra parte, los Bogotanos se quejan constantemente de las situaciones conflictivas entre usuarios y funcionarios y aseguran que la principal razón del mal comportamiento de los usuarios radica en el afán constante de llegar en el menor tiempo posible a su destino, estrés por congestión y acumulación de usuarios debido a las demoras en la frecuencia de los buses y la alta demanda de los usuarios. Algunas de las soluciones que se propusieron en ese estudio para contrarrestar los malos comportamientos de los usuarios fueron principalmente, incrementar el número de funcionarios en las taquillas, torniquetes y plataformas y mejorar y actualizar la información sobre rutas.

En TransMilenio, (por ser un sistema de transporte masivo) el mal comportamiento de un solo usuario, puede impactar negativamente en los demás. Debido a esto,

---

<https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

<sup>33</sup> COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, CEPAL. Facilitación del Transporte y el comercio en América Latina y el Caribe. Unidad de Servicios de Infraestructura, Naciones Unidas. Boletín FAL. Edición N° 312 de 2012.

<sup>34</sup> DIARIO EL TIEMPO. En qué se rajan los pasajeros de TransMilenio. 05 de Mayo de 2014. Bogotá DC [En línea]. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13938737> [Citado el 19 de Noviembre de 2017]

constantemente se realizan campañas de cultura ciudadana y actividades lúdicas en medios de comunicación y en la comunidad en general. Así, la empresa puede transmitir un mensaje claro que le permita a los usuarios identificar y adoptar mejores comportamientos en el sistema.

### **1.5. METODOLOGÍA TCQSM PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN ESTACIONES BRT**

La metodología general de Transit Capacity Quality Service Manual 2013,<sup>35</sup> busca tener en cuenta los distintos puntos de vista de los componentes humanos de los sistemas como son: pasajeros, operarios, ejecutivos y empleados del sistema, usuarios de vehículos privados y demás miembros de la comunidad, de acuerdo a los distintos sistemas que abordan y evalúan. Para esto se basa en resultados de encuestas realizadas en documentos como el TCRP Project B-11,<sup>36</sup> que realizó 13.000 encuestas las cuales buscaban evaluar los atributos de sistemas de transporte público en una escala de 1 a 10. También están los resultados de las encuestas encargadas por el Florida Department of Transportation (FDOT),<sup>37</sup> las cuales evaluaron 6 sistemas de transporte público en Florida por medio de 14.500 encuestas con 22 factores, entre los cuales estaban costo, tiempo de viaje, comodidad de viaje, etc. Por último está el Project 3-70,<sup>38</sup> con 2.600 encuestas que evaluaron 17 aspectos referentes de sistemas de transporte público.

En lo que concierne específicamente a esta investigación, el capítulo 10 del TCQSM 2013 “Capacidad de Estaciones”, evalúa las características y elementos de éstas, tales como:

- Plataformas (tablero): su capacidad se determina con los factores de velocidad de caminata de peatón, densidad peatonal preferida, características de los peatones (presencia de equipaje, coches, bicicletas, usuarios en silla de

---

<sup>35</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.

<sup>36</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Cooperative Research Program. Customer-Defined Service Quality.

<sup>37</sup> FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (FDOT). [En línea <http://www.fdot.gov/>] [Citado el 19 de Diciembre de 2017]

<sup>38</sup> NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP). Multimodal Level of Service for Urban Streets.

ruedas), y ancho efectivo de la plataforma, dando dimensiones adecuadas para los distintos factores para la evaluación del elemento.

La imagen 7, permite identificar el nivel de servicio en tableros, teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente.

Imagen 7. Nivel de servicio en plataformas

LOS	Pedestrian Space (ft <sup>2</sup> /p)	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, S (ft/min)	Flow per Unit Width, v (p/ft/min)	v/c
A	≥ 35	260	0-7	0.0-0.3
B	25-35	250	7-10	0.3-0.4
C	15-25	240	10-15	0.4-0.6
D	10-15	225	15-20	0.6-0.8
E	5-10	150	20-25	0.8-1.0
F	< 5	< 150	Variable	Variable

LOS	Pedestrian Space (m <sup>2</sup> /p)	Expected Flows and Speeds		
		Avg. Speed, S (m/min)	Flow per Unit Width, v (p/m/min)	v/c
A	≥ 3.3	79	0-23	0.0-0.3
B	2.3-3.3	76	23-33	0.3-0.4
C	1.4-2.3	73	33-49	0.4-0.6
D	0.9-1.4	69	49-66	0.6-0.8
E	0.5-0.9	46	66-82	0.8-1.0
F	< 0.5	< 46	Variable	Variable

Source: Fruin (2).

Note: v/c = volume-to-capacity ratio.

Fuente: TCQSM 2013.

Es necesario contar con datos de demanda de pasajeros, se recomiendan periodos de análisis menores a 15 minutos debido a los micropicos que se pueden presentar en este tipo de estaciones. Seguidamente se determina el ancho requerido de tablero, basado en la búsqueda por mantener un nivel de servicio deseable, pudiendo ser éste un nivel de servicio C, para la hora de mayor demanda.

- Escaleras: el ancho de la escalera es un factor determinante del cual depende la velocidad peatonal para este elemento.

Con el fin de determinar el ancho requerido en las escaleras, el TCQSM 2013, presenta dos métodos, los cuales se relacionarán a continuación.

*El método del nivel de servicio:* este parte de la determinación de la demanda peatonal de la escalera para el periodo de análisis y la obtención del flujo peatonal de diseño, al dividir la demanda por el número de minutos evaluado. Se calcula el

ancho requerido de la escalera dividiendo el flujo peatonal de diseño, entre el flujo peatonal máximo. (Ver imagen 8).

Imagen 8. Método del nivel de servicio en escaleras.

LOS	Avg. Ped. Space		Flow per Unit Width		Description
	(ft <sup>2</sup> /p)	(m <sup>2</sup> /p)	(p/ft/min)	(p/m/min)	
A	≥ 20	≥ 1.9	≤ 5	≤ 16	Sufficient area to freely select speed and to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause limited conflicts.
B	15-20	1.4-1.9	5-7	16-23	Sufficient area to freely select speed with some difficulty in passing slower-moving pedestrians. Reverse flows cause minor conflicts.
C	10-15	0.9-1.4	7-10	23-33	Speeds slightly restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause some conflicts.
D	7-10	0.7-0.9	10-13	33-43	Speeds restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause significant conflicts.
E	4-7	0.4-0.7	13-17	43-56	Speeds of all pedestrians reduced. Intermittent stoppages likely to occur. Reverse flows cause serious conflicts.
F	≤ 4	≤ 0.4	Variable	Variable	Complete breakdown in pedestrian flow with many stoppages. Forward progress dependent on slowest moving pedestrians.

Source: Fruin (2).

Fuente: TCQSM 2013.

*El método de filas peatonales:* se basa en un comportamiento particular presentado en estos elementos, las personas tienden a formar filas o hileras al transitar por las escaleras, dependiendo del ancho de la escalera el número de filas puede aumentar. De esta forma, la capacidad de la escalera no es lineal como lo sugiere el método anterior. En el método de filas la capacidad aumenta sólo cuando el ancho equivalente a una fila es añadido. (Ver imagen 9).

Imagen 9. Método de filas peatonales, ancho requerido en escaleras.

Lane Width		Approximate Capacity (p/min/lane)	Comments
in.	cm		
21-27	53-70	30	Notable friction, not recommended for daily use
28-30	71-78	38	Recommended for general use
31-33	79-85	42	Provides extra space and slightly greater capacity
≥34	≥86	Little or no additional capacity	May be beneficial where pedestrians carry items

Fuente: TCQSM 2013.

Se deben analizar el número de filas que se forman naturalmente durante horas pico y se realiza un ajuste por la fricción de flujos bidireccionales de 20% (cuando hay un flujo inverso relativamente pequeño).

- Rampas: usando la pendiente como un factor determinante para este elemento, no se han determinado los límites para los niveles de servicio, pero se menciona que pueden ser comparables con los de las pasarelas, ya que pendientes de hasta 6% no tienen mayor efecto en los peatones.

## **1.6. METODOLOGÍA CCSP PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD Y CALIDAD DEL SERVICIO EN INFRAESTRUCTURAS PEATONALES**

La Metodología de Capacidad y Calidad del Servicio en Infraestructuras Peatonales, desarrollada como trabajo de grado de maestría por el ingeniero Fredy Alberto Guio, con la supervisión del ingeniero Domingo Dueñas,<sup>39</sup> en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, define la capacidad de una infraestructura peatonal de flujo continuo como el número máximo de peatones que pueden pasar apropiadamente por un punto o sección transversal de la infraestructura, durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones específicas de la infraestructura, tránsito y dispositivos de control. Generalmente esta se encuentra expresada en términos de peatones/hora/metro (pe/h/m).

El nivel de servicio peatonal, es una medida cualitativa la cual caracteriza la percepción del peatón con relación a las condiciones de operación de un flujo peatonal. El ingeniero de tránsito utiliza una escala cuantitativa basada en variables macroscópicas (densidad, velocidad y/o volumen) para determinar el nivel de servicio (calidad del servicio). En la ciudad de Tunja como resultado de investigaciones adelantadas,<sup>40</sup> se logró definir una escala de niveles de servicio apta para usar en el entorno colombiano, la cual se especifica a continuación:

- Nivel de Servicio A. Flujo libre: espaciamiento peatonal mayor que 5.6 m<sup>2</sup>/p, tasa de flujo menor o igual a 870 p/hora/m y velocidad de caminata mayor a 1.35 m/s. Se considera que los peatones pueden moverse a voluntad sin que sus movimientos afecten a otros peatones.
- Nivel de Servicio B. Razonablemente flujo libre: espaciamiento peatonal entre 3.8 y 5.6 m<sup>2</sup>/p, tasa de flujo entre 870 y 1220 p/hora/m y velocidad de

---

<sup>39</sup> DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

<sup>40</sup> DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

caminata entre 1.30 y 1.35 m/s. Hay un área suficiente para que los peatones elijan libremente su velocidad de caminata, para sobrepasar a otros peatones o evitar cruces conflictivos.

- Nivel de Servicio C. Flujo estable: espaciamiento peatonal entre 2.5 y 3.8  $m^2/p$ , tasa de flujo entre 1220 y 1740 p/hora/m y velocidad de caminata entre 1.23 y 1.30 m/s. El espacio es suficiente para velocidades de caminata normales, y realizar sobrepasos en corrientes predominantemente unidireccionales. Caminar en dirección contraria o realizar movimientos de cruce puede causar algunos conflictos menores.
- Nivel de Servicio D. Relativamente estable con tendencia a flujo inestable: Espaciamiento peatonal entre 1.6 y 2.5  $m^2/p$ , tasa de flujo entre 1740 y 2600 p/hora/m y velocidad de caminata entre 1.15 y 1.23 m/s. La libertad para seleccionar velocidades de caminata individuales y sobrepasar a otros se restringe. Cruzar o circular en dirección contraria, presenta gran probabilidad de conflicto requiriendo cambios frecuentes de velocidad y posición.
- Nivel de Servicio E. Flujo inestable: espaciamiento peatonal entre 0.80 y 1.6  $m^2/p$ , tasa de flujo entre 2600 y 4000 p/hora/m y velocidad de caminata entre 0.90 y 1.15 m/s. Prácticamente, todos los peatones restringen su velocidad de caminata normal, ajustando frecuentemente su paso. El espacio no es suficiente para adelantar peatones lentos. Los volúmenes de diseño, se aproximan al límite de la capacidad de la infraestructura, se presentan detenciones e interrupciones del flujo.
- Nivel de Servicio F. Flujo forzado: espaciamiento peatonal menor que 0.80  $m^2/p$ , tasa de flujo variable y velocidad menor que 0.90 m/s. En este nivel de servicio, todas las velocidades de caminata están seriamente restringidas, y el avance se realiza solamente arrastrando los pies. El contacto con otros peatones es frecuente e inevitable. El flujo es esporádico e inestable.

El resumen de las relaciones de las variables macroscópicas de flujo para cada uno de los niveles de servicio, se relacionan en el cuadro 1.

Cuadro 1. NS y variables macroscópicas.

Nivel de Servicio	Espacio m <sup>2</sup> /peat	Flujo peat/min/m	Velocidad m/seg	Relación flujo/capacidad	Volumen horario
A	> 5.6	< 14	> 1.35	< 0.2	< 870
B	3.8 - 5.6	14 - 20	1.3 - 1.35	0.2 - 0.3	870 - 1220
C	2.5 - 3.8	20 - 29	1.23 - 1.3	0.3 - 0.45	1220 - 1740
D	1.6 - 2.5	29 - 43	1.15 - 1.23	0.45 - 0.65	1740 - 2600
E	0.8 - 1.6	43 - 67	0.9 - 1.15	0.65 - 1.0	2600 - 4000
F	< 0.8	Variable	< 0.9	Variable	Variable

Fuente: Guio y Dueñas,<sup>41</sup> adaptado desde Quintero y Salcedo, 2012.<sup>42</sup>

La metodología CCSP tiene en cuenta variables relacionadas con la infraestructura, entre ellas se destacan el ancho efectivo, estado de la superficie, pendiente, obstrucciones laterales, longitud del tramo y tipo de vía. En cuanto a las características del flujo peatonal, se considera la velocidad de caminata como variable de decisión, el volumen peatonal, el factor de periodo pico, y el efecto de la distribución direccional del flujo. Las características propias de los peatones que se tienen en cuenta son: género, edad, acompañantes, paquetes o maletas y bloqueos por encuentro. En cuanto a las condiciones del entorno se considera el tipo de zona en función del uso del suelo del sector.

**1.6.1. Cálculo de la capacidad:** La capacidad de una infraestructura peatonal, se da en peatones para un período determinado de tiempo y por metro lineal de ancho de sección transversal, según la siguiente ecuación:

$$C = C_i * A_e * f_{eg} * f_{pe} * f_{td} * f_s$$

Donde:

C = Capacidad de la infraestructura a estudiar

C<sub>i</sub> = Valor máximo de flujo para condiciones ideales.

A<sub>e</sub> = Ancho efectivo utilizado por los peatones.

F<sub>eg</sub> = Factor de ajuste por edad y género

<sup>41</sup> DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

<sup>42</sup> QUINTERO, Ricardo y SALCEDO Leonardo. Calibración y validación de parámetros en un modelo de flujo peatonal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero en Transporte y Vías. Tunja, 2012.



F<sub>pe</sub> = Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía.

F<sub>td</sub> = Factor de ajuste por tipo de vía y distribución direccional.

F<sub>s</sub> = Factor de ajuste por acompañantes.

**1.6.2. Cálculo del nivel de servicio:** este se basa en la comparación de la velocidad representativa de las condiciones estudiadas U<sub>RE</sub>, con la velocidad para los diferentes niveles de servicio y pendientes tabulada para condiciones locales U<sub>T</sub>.

Inicialmente, se define la velocidad media bajo condiciones ideales a flujo libre, relacionada para una pendiente dada y una longitud de tramo, la correspondiente velocidad ideal a flujo libre U<sub>FL</sub>. La cual se encuentra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Vel media ideal para peatones a flujo libre bajo diferentes pendientes U<sub>FL</sub>

PENDIENTE	LONGITUD DEL TRAMO (M)					
	20	40	60	80	100	> 100
SUAVE < 3%	1.60	1.57	1.54	1.51	1.48	1.45
MEDIA 3% - 7%	1.40	1.37	1.34	1.32	1.29	1.27
ALTA 7% - 12%	1.20	1.18	1.15	1.13	1.11	1.08

Fuente: Guio y Dueñas, adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Seguidamente, se determina la velocidad de caminata a flujo predeterminado U<sub>FP</sub> mediante la siguiente ecuación:

$$U_{FP} = U_{FL} * \frac{V}{C}$$

Donde El factor V/C es la relación entre el volumen de servicio y la capacidad. El volumen de servicio debe expresarse e términos de flujo, por lo que debe ser dividido por el factor de hora pico (FHP) calculado para periodos de 15 minutos y fluctuaciones dentro de ellos. Posteriormente, se establece la velocidad representativa de las condiciones estudiadas o previstas U<sub>RE</sub>. Esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$U_{RE} = U_{FP} * \text{Factor de ajuste}$$

Por último, se compara la  $U_{RE}$  con la  $U_T$  del cuadro 3 y se determina el nivel de servicio.

Cuadro 3. Velocidad peatonal para condiciones locales UT

Vía/Andén (Pendiente Longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Suave (< 3%)	> 1.35	1.30 - 1.35	1.23 - 1.30	1.15 - 1.23	0.90 - 1.15	< 0.90
Media (3% - 7%)	> 1.15	1.10 - 1.15	1.05 - 1.10	0.90 - 1.05	0.85 - 0.90	< 0.80
Alta (7% - 12%)	> 0.95	0.90 - 0.95	0.85 - 0.90	0.75 - 0.85	0.70 - 0.75	< 0.70

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Los factores de corrección, junto con sus tablas, se relacionan en el anexo A2.

## 1.7. TIPOLOGÍAS DE DESARROLLO URBANO EN TORNO AL BRT

El tipo de desarrollo urbano que puede darse en torno a los sistemas de BRT en las ciudades exige que la planificación contenga estrategias que se encuentren en un marco de crecimiento regional y participación del público en general en este desarrollo. Su propósito es el de aumentar las posibilidades de éxito del sistema.

Cervero y Murakami<sup>43</sup> relacionan las tipologías de desarrollo urbano entorno a las estaciones de metro de Hong Kong, entre las cuales se destacan: edificios de oficinas de gran altura, edificios residenciales de gran altura, desarrollos residenciales a gran escala, desarrollos de uso mixto a gran escala y edificios residenciales de mediana altura. Por otro lado, Atkinson-Palombo y Kuby<sup>44</sup> en un estudio realizado en el tren ligero de Phoenix Arizona, identificaron tipologías correspondientes a: centros de empleo, áreas de uso mixto de medianos ingresos, nodos de estacionamiento para pasajeros frecuentes, áreas de alta densidad

<sup>43</sup> CERVERO Y MURAKAMI. Rail and property Development in Hong Kong: Experiences and extensions. University of Hong Kong. 2009.

<sup>44</sup> ATKINSON-PALOMBO Y KUBY. The geography of advance transit-oriented development in metropolitan Phoenix, Arizona, 2000–2007. Journal of Transport Geography 19 (2), 189-199. 2011.

poblacional o alta presencia de zonas de alquiler, y áreas que presentan concentración de pobreza urbana.

Las visiones acerca de qué tipos de desarrollo urbano pueden darse en el futuro y dónde tendrán lugar son fundamentales en el proceso de planificación y, con frecuencia, hacen parte de los escenarios definidos en ejercicios de prospectiva, en los cuales estas tipologías deben ser tenidas en cuenta por parte de las personas que toman decisiones, los planificadores y el público en general.

## **2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACCESO/SALIDA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA BRT TRANSMILENIO**

En general en el transporte uno de los temas de coyuntura en cuanto al desarrollo económico de una región es la necesidad de contar con infraestructura de calidad para lograr competir en igualdad de condiciones en un entorno de comercio internacional y tener la capacidad de mover productos de manera ágil y eficiente.

En el transporte de pasajeros, la posibilidad de acceder a trabajos, educación y servicios públicos son parte fundamental del desarrollo humano. Los sistemas BRT han demostrado ser un mecanismo de costo-beneficio favorable para que las ciudades desarrollen rápidamente un sistema de transporte público en red, que pueda ofrecer un servicio óptimo. La infraestructura de alta calidad en las estaciones juegan un papel crucial a la hora de servir a los usuarios. Por lo tanto, es indispensable que sean seguras, cómodas, accesibles y que su operación sea eficiente.

Este capítulo permitirá al lector conocer la zona y área en que se centra la investigación, además de ello, relacionará las características físicas fundamentales del acceso de la estación, considerando elementos en el diseño de estructuras continuas.

### **2.1. ZONA Y ÁREA DE ESTUDIO**

El proceso de investigación se centra en la ciudad de Bogotá, en el sistema BRT TransMilenio, específicamente en *un* acceso de la estación Calle 100. Esta estación se encuentra ubicada en la Autopista Norte, entre las localidades de Chapinero y Barrios Unidos, atendiendo la demanda de los barrios La Castellana y Chicó Norte Sector III, entre otros. Al evaluar y comparar los datos de demanda de pasajeros en los años 2016 y 2017, proporcionados por TransMilenio S.A, se observó que la Estación Calle 100 en el 2016 fue la segunda más cargada con 46.337<sup>45</sup> entradas registradas, detrás de la estación Banderas; Y en el año 2017

---

<sup>45</sup> TransMilenio S.A. TransMilenio en cifras, Estadísticas de Oferta y Demanda del Sistema Integrado de Transporte Público, SITP. Informe N° 34, Septiembre de 2016. Disponible en: [http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/estadisticas\\_de\\_oferta\\_y\\_demanda\\_del\\_sistema\\_integrado\\_de\\_transporte\\_publico\\_sitp\\_septiembre\\_2016](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/estadisticas_de_oferta_y_demanda_del_sistema_integrado_de_transporte_publico_sitp_septiembre_2016)

presentó la mayor demanda con 46.567<sup>46</sup> entradas registradas. Tales datos confirman que la estación es un objeto de estudio ideal al ser un elemento crítico del sistema, mostrando de manera realista los comportamientos que podrían ser representativos del sistema en general.

La estación de la calle 100 presenta cuatro (4) accesos y/o salidas, dos orientales y dos occidentales. Los correspondientes a la zona occidental, presentan bajo tráfico de usuarios, al presentar un uso de suelo residencial y de baja tendencia en altura de predios según información del distrito<sup>47</sup>, se evidenció que esto repercute en un bajo tráfico de usuarios en comparación con los orientales cuyo uso del suelo es comercial, oficinista y con edificaciones de alturas mayores a 7 pisos. En la imagen 10 se puede observar la tendencia de alturas en los predios del sector, el recuadro amarillo representa la ubicación de la estación.

Imagen 10. Tendencia de altura en los predios de la zona de influencia de la estación.



Fuente: Mapas Bogotá, Alcaldía Mayor de Bogotá.

De los accesos orientales, el suroriental fue construido como complemento para cubrir la demanda de pasajeros al haberse ampliado la capacidad de la estación

<sup>46</sup> TransMilenio S.A. TransMilenio en cifras, Estadísticas de Oferta y Demanda del Sistema Integrado de Transporte Público, SITP. Informe N° 46, Septiembre de 2017. Disponible en: [http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/estadisticas\\_de\\_oferta\\_y\\_demanda\\_del\\_sistema\\_integrado\\_de\\_transporte\\_publico\\_sitp\\_septiembre\\_2017](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/estadisticas_de_oferta_y_demanda_del_sistema_integrado_de_transporte_publico_sitp_septiembre_2017)

<sup>47</sup> Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Mapas Bogotá. Disponible en: <http://mapas.bogota.gov.co/bogotaevolucion/DinamicaAlturas.html>

con dos vagones adicionales, este presenta características físicas con diferencias significativas como lo es un puente atirantado, el cual disminuye la representatividad en comparación con instalaciones peatonales de otras estaciones. Se tuvo en cuenta además que la falta de escaleras afectaría considerablemente el desarrollo de la investigación.

Se decidió trabajar entonces con el acceso nororiental de la estación ya que la infraestructura presenta características similares a los accesos en las demás estaciones, lo cual garantiza la representatividad de los datos obtenidos y su aplicabilidad en otras estaciones. Además de ello, el acceso nororiental presenta la infraestructura de flujo continuo (rampa, escaleras, y tablero) que busca ser evaluada en la presente investigación.

La imagen 11, permite visualizar el plano de ubicación de la estación de la calle 100 del sistema de BRT TransMilenio y la imagen 12 el acceso nororiental de ésta.

Imagen 11. Plano de Ubicación, Estación Calle 100, ST.



Fuente: Sitio Web TransMilenio

Imagen 12. Acceso nororiental de la estación de la calle 100, ST.



Fuente: Los autores.

## 2.2. ACCESO ESTUDIO (NORIENTAL CALLE 100)

Este acceso cuenta con una estructura a desnivel compuesta a su vez por una escalera de un solo tramo, dos (2) rampas (una de acceso y una intermedia) y un tablero. En este subcapítulo, se pondrán en consideración un inventario de cada una de estas estructuras junto con sus características de diseño, resaltando si estas se encuentran dentro de los valores admisibles. Es importante tener en cuenta que el decreto 279 de 2003<sup>48</sup> reglamenta los puentes peatonales en el Distrito Capital, éste a su vez adopta las medidas del documento CA-GE-001,<sup>49</sup> el cual está basado en la Norma Técnica Colombiana NTC<sup>50</sup> y aquellas que la modifiquen, reglamenten o complementen.

---

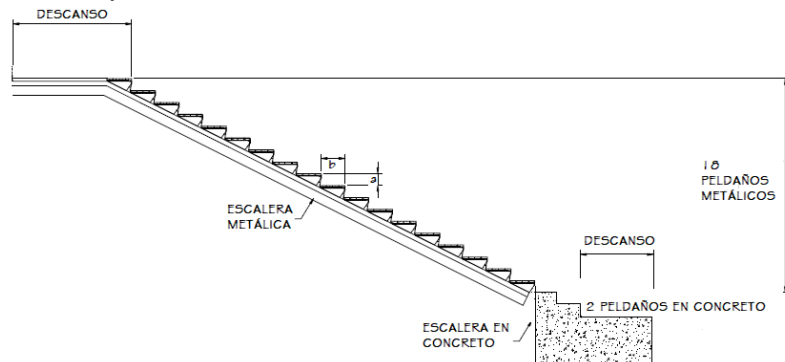
<sup>48</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL. Decreto 279 de 2003. "Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital". Bogotá D.C.

<sup>49</sup> INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU, Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá, Alcaldía Mayor de Bogotá. 2009.

<sup>50</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana (NTC). Bogotá, 1963.

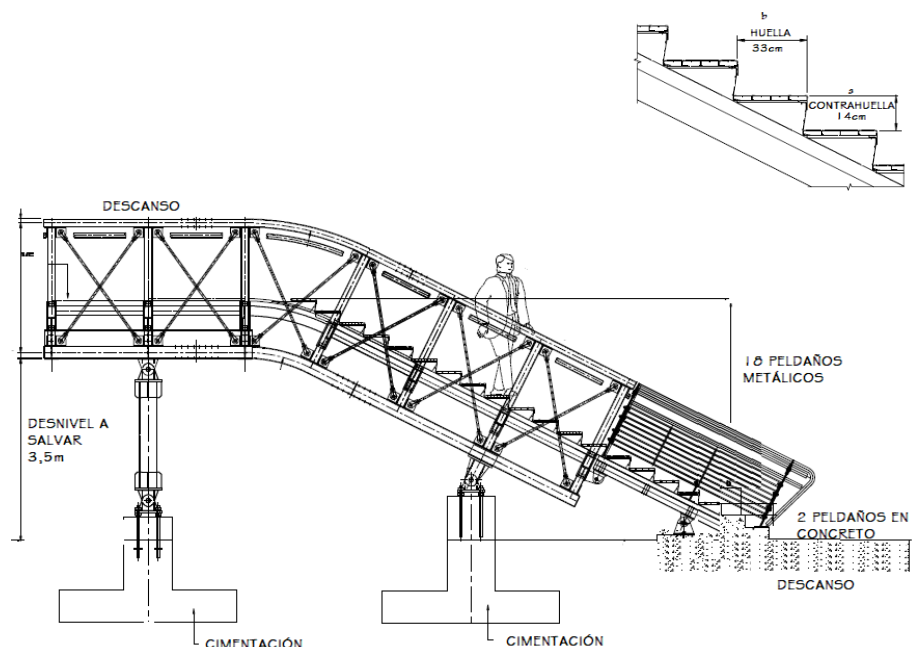
**2.2.1. Escalera:** es una construcción diseñada para comunicar dos espacios situados a diferentes alturas. La escalera de éste acceso presenta un solo tramo; no tiene giros, descansos o rellanos. Está compuesta por 20 escalones o peldaños sin descanso intermedio. Cada uno de ellos presenta una huella de 33cm y una contrahuella de 14cm, su ancho total de 224cm y el material dominante de construcción es el metal (los dos primeros peldaños de la parte inferior son de concreto).

Imagen 13. Vista en perfil, escalera.



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

Imagen 14. Vista en perfil, escalera.



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001



La NTC 4145<sup>51</sup> especifica que la escalera de uso público podrá tener en tramos rectos y sin descanso un máximo de 18 escalones, un ancho mínimo de 1,20m (teniendo en cuenta la separación del pasamanos de la baranda), las contrahuellas deben tener una altura  $\leq 18\text{cm}$ , y las dimensiones de la huella resultan de aplicar la siguiente ecuación:

$$2a + b = 60 - 64\text{cm}$$

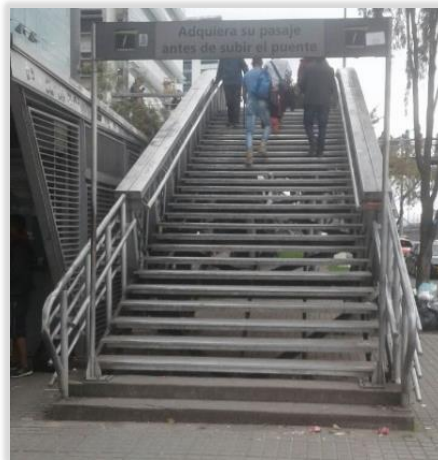
En donde a es la contrahuella y b es la huella, en cm.

A continuación se realiza la verificación de las dimensiones de la huella de la escalera correspondiente al acceso a la estación.

$$2(14) + 33 = 61\text{cm} \quad \text{OK}$$

La imagen 15 corresponde a la vista del acceso, estación calle 100.

Imagen 15. Escalera de acceso, estación Calle 100.



Fuente: autores.

Conociendo esto, se puede concluir que el diseño de la escalera presenta irregularidades, ya que el número de peldaños total existentes en la estación es mayor al permitido en la reglamentación Colombiana, por otro lado las

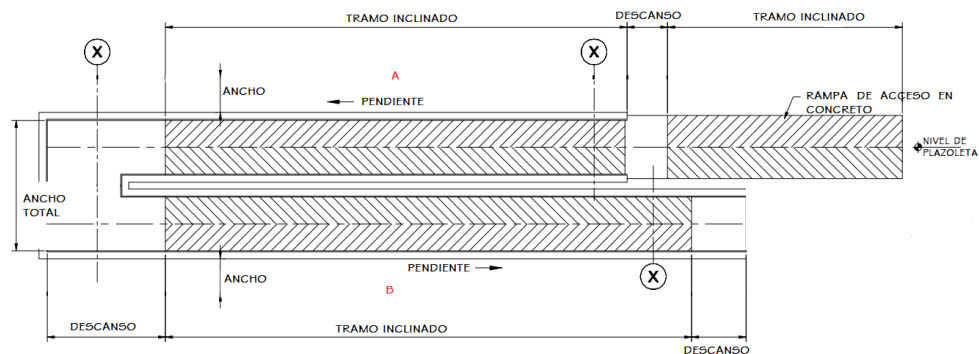
---

<sup>51</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana, NTC 4145. Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, escaleras. 2004.

dimensiones de huella y contrahuella son admisibles, el piso es antideslizante y sin relieve. Es preciso mencionar que la estructura no presenta señalización alguna, (requerida según la NTC 4144).<sup>52</sup>

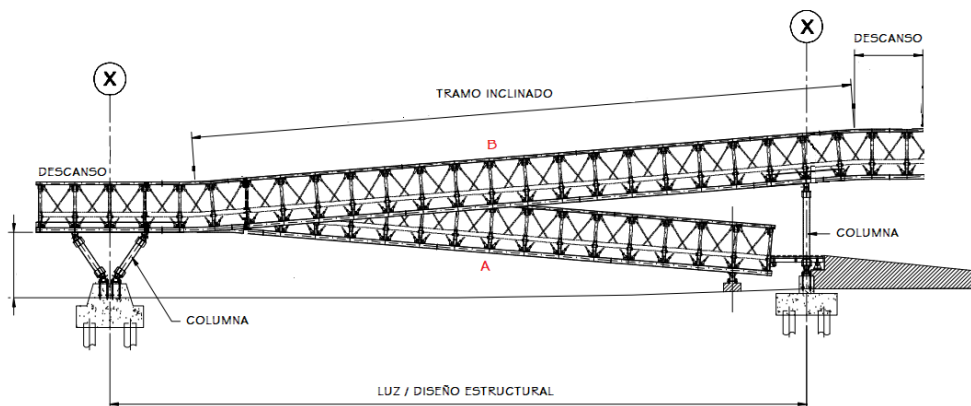
**2.2.2. Rampas:** El acceso nororiental a la estación cuenta con dos rampas de ingreso, una de acceso (A) y una intermedia (B). Específicamente para esta investigación se ha decidido estudiarlas por separado porque su pendiente varía. La imagen 16 y 17, permite visualizar las dos rampas en planta y perfil.

Imagen 16. Vista en planta de las rampas existentes en el acceso de la estación



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

Imagen 17. Vista en perfil de las rampas existentes en el acceso de la estación



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

<sup>52</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana, NTC 4144. Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, espacios urbanos y rurales. Señalización. 2004.

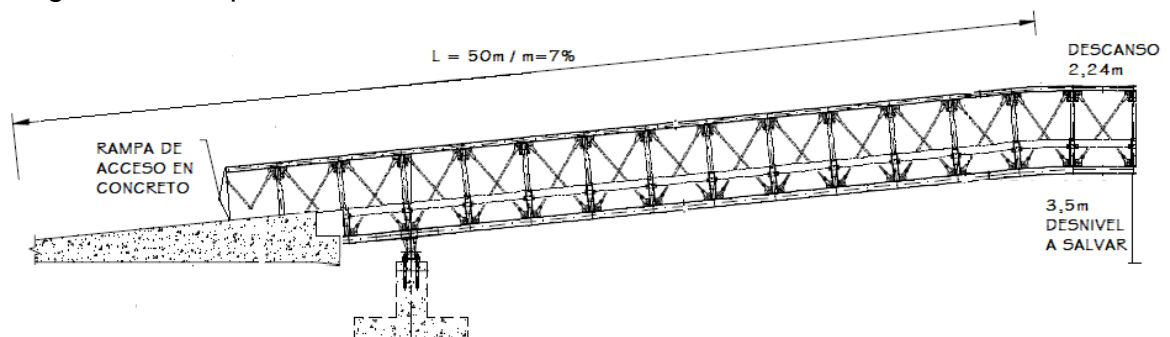
- **Rampa de acceso:** está construida principalmente en concreto y metal, su pavimento es firme y el metal antideslizante. Ésta presenta 50m de longitud de desarrollo, un ancho de 2,24m, una longitud de descanso de 2,24m y un desnivel a salvar de 3,5m. Su pendiente se calculó de la siguiente manera:

$$Pendiente = \frac{Cateto\ Opuesto}{Hipotenusa} * 100$$

$$Pendiente = \frac{3,5m}{50m} * 100 = 7\%$$

La imagen 18 permite visualizar las características físicas de la rampa.

Imagen 18. Rampa de acceso.



Elaboración propia a partir del CA-GE-001

La NTC 4774,<sup>53</sup> especifica que la pendiente máxima para un rampa de acceso a un puente peatonal es del 10%, su ancho es de mínimo 1,5m, su longitud máxima de desarrollo entre descansos es de 25m y la longitud mínima de descanso es de 1,5m. Según la NTC 4143,<sup>54</sup> en caso de que se presente doble circulación simultánea, se deberá colocar en el centro pasamanos intermedios. Además de

<sup>53</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4774, Accesibilidad de las personas al medio físico, puentes peatonales. 2004.

<sup>54</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4143, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificio, rampas fijas. 2004.

ello, según la NTC 4201<sup>55</sup> cuando las rampas salven desniveles superiores a 10cm, deberán llevar bordillos.

Imagen 19. Rampa de acceso



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, la rampa existente en el acceso de la estación, presenta errores en el diseño ya que cuenta con la ausencia de pasamanos intermedio y de bordillo. Su pendiente, longitud de desarrollo, longitud de descanso y ancho, están dentro de los rangos aceptados. Es preciso mencionar que la estructura no presenta la señalización requerida según la NTC 4144.<sup>56</sup>

**2.2.3. Rampa intermedia:** está construida principalmente en metal, presenta 15,5m de longitud, un ancho de 2,24m y una altura de 1,33m. Su pendiente se calculó de la siguiente manera:

$$Pendiente = \frac{Cateto\ Opuesto}{Hipotenusa} * 100$$

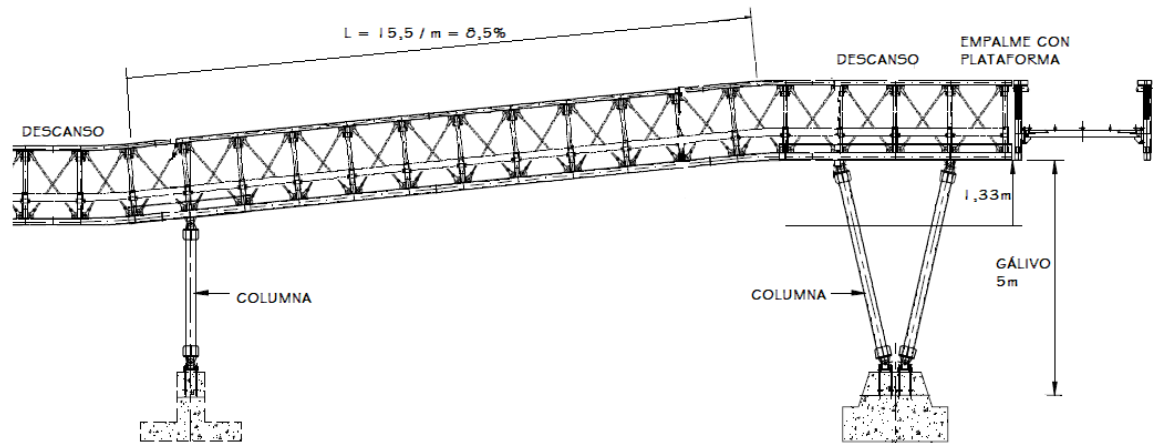
$$Pendiente = \frac{1,33m}{15,5m} * 100 = 8,5\%$$

---

<sup>55</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4201, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios y espacios urbanos, Equipamientos. Bordillos, pasamanos, barandas y agarraderas. 2004.

<sup>56</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana, NTC 4144. Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, espacios urbanos y rurales. Señalización. 2004.

Imagen 20. Características de la rampa intermedia



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

Según la normatividad descrita en la NTC 4143,<sup>57</sup> relacionada anteriormente para diseño de rampas, al igual que la rampa de acceso, la rampa intermedia presenta una pendiente mayor a la admisible, ausencia de baranda intermedia, de bordillo y de señalización, lo cual repercute directamente en la percepción de comodidad en los usuarios. La imagen 20 y 21 permite visualizar las características físicas de la rampa:

Imagen 21. Características de la rampa intermedia.



Fuente: Autores.

<sup>57</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4143, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificio, rampas fijas. 2004.

**2.2.4. Rampa de acceso al vagón:** además la estación cuenta con una rampa de acceso al vagón, la cual no se tuvo en cuenta para esta investigación debido a que en el alcance estaba especificado el estudio de flujos continuos y esta rampa como se puede observar en la imagen 22, presenta flujo discontinuo, al convertirse en un área de espera por los efectos de los torniquetes del registro de pasajes y a que el número de personas esperando el articulado, excede la capacidad de la zona de espera predispuesta dentro del vagón.

Imagen 22. Rampa de acceso al vagón



Fuente: los autores.

**2.2.5. Tablero:** presenta una longitud de 41m y un ancho de 2,24m, sus barandas y pasamanos son continuas con las de la rampa, su pendiente es de 2% y su gálibo de 4,5 m, El material en que se encuentra construido es metal. Sus características se relacionan en las imágenes 23 y 24.

La NTC 4774,<sup>58</sup> especifica que los puentes peatonales deben contar con accesos y elementos que lo conecten, ya sea rampas, escaleras o ascensor. La pendiente longitudinal del puente debe ser máximo del 2%, el ancho mínimo de 1,5m medido desde las caras internas del pasamanos, debe contar con bordillos continuos a ambos lados, a lo largo del puente, con unas dimensiones mínimas de 15x6cm y

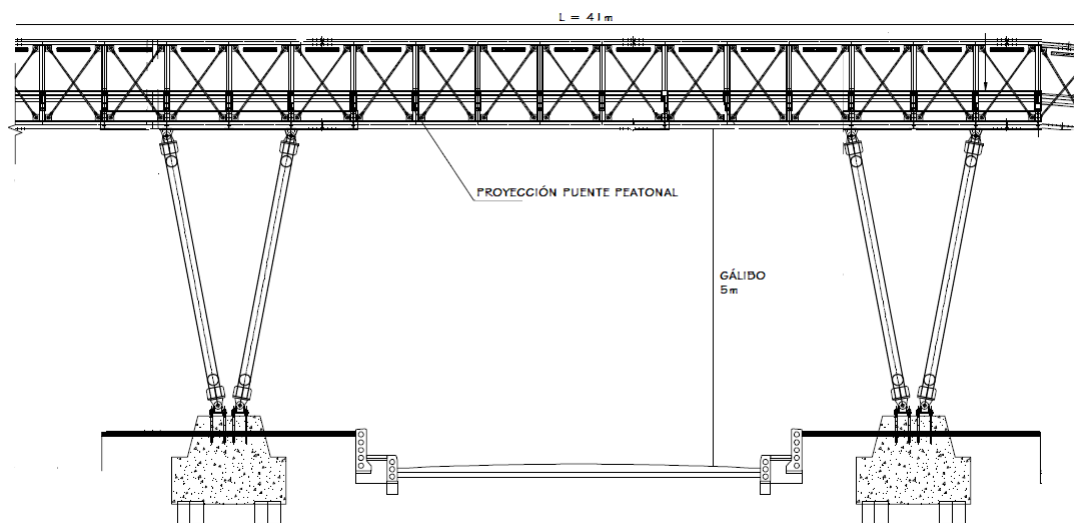
<sup>58</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4774, Accesibilidad de las personas al medio físico, puentes peatonales. 2004.



cumplir demás especificaciones de la NTC 4201.<sup>59</sup> El piso del puente debe ser antideslizante y sus pendientes tanto longitudinales como transversales deben garantizar el drenaje adecuado y su correspondiente evacuación, y ser consistentes con la NTC 4143.<sup>60</sup> El gálibo libre del puente debe ser mínimo el establecido en las normas legales vigentes, que según el CCP14<sup>61</sup> es de mínimo 5m.

Se puede concluir que el tablero presenta buenas condiciones de diseño, aunque la ausencia de bordillo puede afectar la seguridad de los transeúntes. Por otro lado, el gálibo actual no cumple con los requerimientos exigidos en el CCP14, ya que el puente cuenta con un gálibo de 4,5m y el exigido es del 5m, esto se atribuye a que los puentes fueron diseñados con CCP95.<sup>62</sup>

Imagen 23. Vista en perfil del tablero.



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

<sup>59</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4201, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios y espacios urbanos, Equipamientos. Bordillos, pasamanos, barandas y agarraderas. 2004.

<sup>60</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4143, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificio, rampas fijas. 2004.

<sup>61</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. Norma Colombiana de Diseño de Puentes –LRFD- CCP14. 2014.

<sup>62</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. Norma Colombiana de Diseño de Puentes –LRFD- CCP95. 1995.

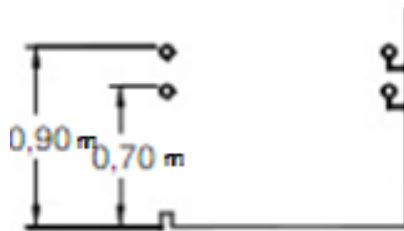
Imagen 24. Características del tablero



Fuente: Autores.

**2.2.6. Baranda:** cada una de las estructuras antes mencionadas presenta baranda metálica de 90cm de altura, esta cuenta con un pasamanos de 70cm de altura, ubicado 7cm hacia el interior de la estructura (lo cual disminuye el ancho efectivo de esta). Las características de la baranda se presentan en la imagen 25 y 26.

Imagen 25. Características de la baranda



Fuente: Elaboración propia a partir del CA-GE-001

El diseño de la baranda debe cumplir con lo descrito en la NTC 4201<sup>63</sup> y en el código Colombiano de Puentes.<sup>64</sup> En ellas se especifica que es necesario que las

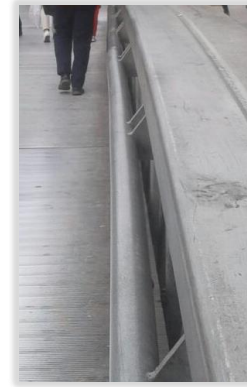
<sup>63</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC 4201, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios y espacios urbanos, Equipamientos. Bordillos, pasamanos, barandas y agarraderas. 2004.



barandas cuenten con pasamanos continuos, uno a 90cm y otro a 70cm de altura, estos a su vez deben permitir el fácil deslizamiento de la mano, la sujeción fácil y segura y presentar prolongaciones horizontales de mínimo 30cm en los extremos.

Las agarraderas de estos pasamanos deben tener un diámetro entre los 35 y 50mm y una separación libre de mínimo 50mm. Las barandas y pasamanos deben presentar continuidad en las demás estructuras (escaleras y/o rampas), inclusive en los lugares de descanso. Las barandas deben brindar seguridad física y transparencia visual, estar entre 1m - 1,20m de altura y tener redondeados los bordes con el fin de evitar punzones o enganches.

Imagen 26. Características de la baranda



Fuente: autores

Respecto a las especificaciones de diseño, las barandas del acceso a la estación presentan una altura que no es admisible en los reglamentos y cuentan únicamente con un pasamanos, lo cual pone en peligro a los usuarios de la infraestructura a desnivel.

---

<sup>64</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. Norma Colombiana de Diseño de Puentes –LRFD- CCP14. 2014.

### **3. RELACIONES ENTRE VARIABLES MACROSCÓPICAS DEL FLUJO PEATONAL**

Este estudio está orientado principalmente a conocer la operación del acceso nororiental de la estación de la Calle 100 del Sistema BRT TransMilenio en la ciudad de Bogotá. Se busca que ésta investigación permita definir, planear y diseñar mejoras y controles, en pro de la seguridad peatonal, la optimización de las operaciones, el uso de la infraestructura y la calidad de vida de los usuarios del sistema. Además de ello dicha información puede usarse para sentar las bases de una metodología que evalúe la capacidad y el nivel de servicio del flujo peatonal, en infraestructuras continuas a desnivel, adaptada a las necesidades del entorno Colombiano; Relacionada directamente con estudios de ingeniería de tránsito y transporte que permitan tomar decisiones encaminadas a la mejora de la prestación del servicio y el fomento de los sistemas BRT como modo de transporte sostenible en las ciudades.

Este capítulo relaciona los resultados obtenidos en los aforos peatonales acerca de las principales variables macroscópicas de la estación y la relación existente entre ellas, velocidad y densidad peatonal, velocidad y flujo peatonal y densidad y flujo peatonal, en puentes (tableros) y rampas y/o escaleras existentes en accesos y/o salidas de la estación Calle 100 del Sistema TransMilenio en la ciudad de Bogotá D.C.

#### **3.1. PROCEDIMIENTO, TOMA DE INFORMACIÓN**

La metodología de la toma de información está dividida en tres fases fundamentales las cuales establecen el proceso secuencial de esta. Se encuentra inicialmente la ejecución de una prueba piloto de toma de la información, seguidamente se realizó el inventario de las infraestructuras existentes en el acceso (relacionadas en el capítulo 2) y el proceso de la toma de información. El gráfico 1, presenta un diagrama de la metodología usada, secuencialmente se especifica cada una de estas fases, relacionando información clara referente a procesos, muestreo, importancia y limitaciones encontradas en el trabajo.

Grafico 1. Metodología, toma de información



Fuente: Elaboración propia.

**3.1.1. Prueba piloto de toma de información:** esta es una experimentación crucial que se realiza en campo la cual permite poner a prueba la viabilidad de los equipos y la metodología planteada para la toma de la información. Para la realización de la prueba piloto, fue necesario efectuar un desplazamiento hasta la ciudad de Bogotá con el fin de reconocer visualmente la estación, identificar el acceso a estudiar, los lugares estratégicos para el aforo de las variables a caracterizar, la forma de tomar la información, los formatos a usar, realizar el inventario de las infraestructuras y demás condiciones específicas que se creyeron pertinentes, como lo fue hablar con los usuarios del sistema para conocer la percepción que ellos tenían de la estación.

**3.1.2. Captura de la información** Teniendo en cuenta las principales variables macroscópicas del flujo peatonal, se procede a la toma de información primaria a través de aforos por videos, inventarios y registros fotográficos. Esta se desarrolló durante horas determinadas según los requerimientos de la variable a estudiar. Es de suma importancia tener en cuenta que se buscó tomar información necesaria para conformar una nube de puntos completa y así evitar sesgos, considerando periodos de flujo libre, estable, inestable y forzado.

**3.1.2.1. Puntos de toma de información:** los estudios de tránsito peatonal fueron realizados en las estructuras a desnivel del acceso nororiental de la estación de la Calle 100 del sistema de BRT Transmilenio en la ciudad de Bogotá Colombia. Se estudiaron dos rampas, la de acceso y la intermedia, la escalera y el tablero del puente. La captura de la información de las variables macroscópicas (la grabación de los videos) se realizó desde la terraza de un edificio de 12 pisos de altura, la cual permitía una visual de todo el acceso a la estación. Para ello se solicitaron los permisos necesarios con la administración y seguridad del edificio.

**3.1.2.2. Variables macroscópicas consideradas:** todas las mediciones, observaciones y fotografías fueron realizadas en un día típico, cumpliendo con el concepto de día “normal” de las investigaciones,<sup>65</sup> los cuales lo describen como un día entre semana de martes a jueves, durante el periodo de flujo libre, estable, inestable y forzado y bajo condiciones climáticas favorables. Las variables macroscópicas consideradas en la captura de información, fueron las siguientes:

- **Densidad:** se determinó con ayuda de registro fotográfico extraído de los videos tomados, donde se identificó la cantidad de peatones en tránsito, y un inventario donde se relaciona las características físicas de la estructura a desnivel. Se tomó una (1) fotografía con intervalos de treinta (30) segundos, durante el tiempo dispuesto para el aforo, el cual fue de: dos (2) horas en periodo de hora pico y dos (2) horas en periodo valle. Estos periodos fueron definidos según los volúmenes en las horas de máxima y mínima demanda. Se consideró un área de 6m<sup>2</sup> en las escaleras y de 13,5m<sup>2</sup> en rampas y tablero. Además de ello se realizó una clasificación de peatones por género y si llevan paquete o no.

El ancho efectivo para determinar la densidad peatonal, se calculó teniendo en cuenta el ancho total del acceso y la suma de los anchos y distancias de obstrucción, se presenta entonces la siguiente ecuación:

$$We = Wt - Wo$$

Donde:

We: Ancho efectivo (m)

Wt: Ancho efectivo total (m); Igual a 2,24m.

Wo: Suma de los anchos y distancias de obstrucción; Igual a 29cm (14cm por el pasamanos y 15cm de reducción calculada)

$$We = 2,24m - 0,29m = 1,95m$$

Tanto la escalera como las rampas y el tablero, presentan 2,24m de ancho total y 29cm de obstrucciones, se consideraron 14cm por el pasamanos, 7cm a cada lado (Ver detalle de la baranda en capítulo 2 de inventario de infraestructura) y 15 cm

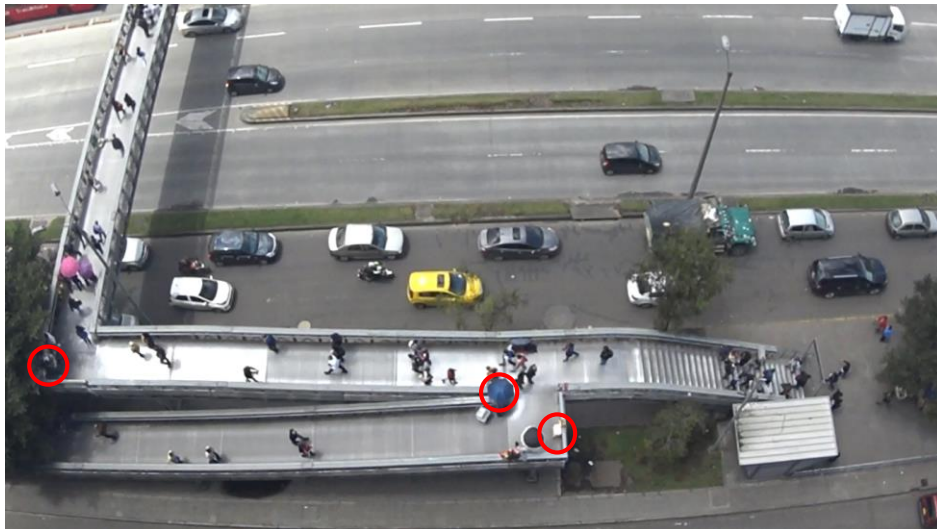
---

<sup>65</sup> MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

de reducción calculada, la cual según Guio<sup>66</sup> debe oscilar entre los 14 y 22cm, al suponerse que los peatones no usan completamente el ancho dispuesto especialmente en los bordes. De lo anterior se concluye que el ancho efectivo total de 1,95m para cada una de las infraestructuras.

En cuanto a las actividades comerciales relacionadas al flujo peatonal (vendedores ambulantes), no se tuvo en cuenta una disminución en el ancho efectivo, ya que no se consideraron como obstrucciones significativas debido a su ubicación (ver imagen 27) y al no tener una longitud mayor a tres (3) metros.<sup>67</sup> No obstante, los datos de velocidades y densidades se tomaron en áreas en las que no había influencia directa por la presencia de estos.

Imagen 27. Ubicación de los vendedores ambulantes en el acceso de la estación



Fuente: Elaboración propia.

- **Volumen:** esta se realizó con ayuda de videos durante ocho (8) horas distribuidas a lo largo del día, teniendo en cuenta periodos característicos. El volumen proviene de aforos en sub-periodos de 15 minutos, considerando una clasificación de peatones por género, si llevan paquete o no y dirección (entrada o

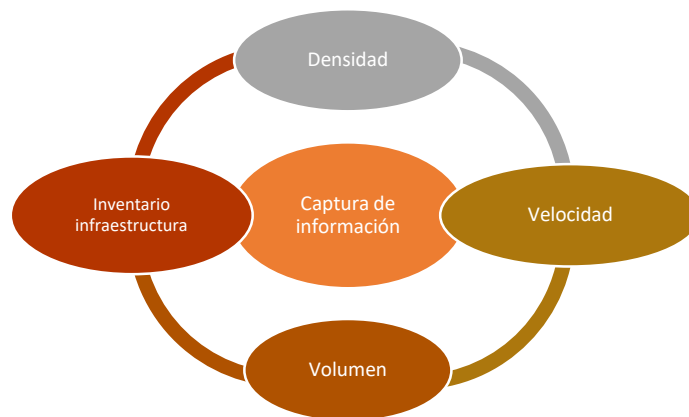
<sup>66</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia 2010. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129).

<sup>67</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia 2010. Facultad De Ingeniería, Pág. 88. 17(0121-1129).

salida), tanto en las rampas, como en la escalera y el tablero (puente), del acceso Nororiental de la estación.

- **Velocidad:** se consideró la técnica de velocidad de recorrido, la cual consiste inicialmente en identificar una longitud específica de la estructura a desnivel, seguidamente determinar con ayuda de un cronómetro el tiempo que el peatón dura en recorrerla y teniendo en cuenta la ecuación que relaciona el tiempo y el espacio se fijó esta variable. Se realizó una medición cada dos (2) minutos por tipo de peatón, es decir una toma de velocidad cada 30 segundos durante el tiempo dispuesto para el aforo, el cual fue de dos (2) horas en periodo de hora pico y dos (2) horas en periodo valle; considerando una caracterización peatonal para este caso de hombres y mujeres con y sin paquete. El gráfico 2, relaciona un diagrama con los datos a recolectar en esta investigación:

Grafico 2. Datos a recolectar.



Fuente: Elaboración propia.

*Nota:*

Es indispensable mencionar que se consideraron como paquetes: maletas, bolsos de tamaño mediano a grande (más de 20x20cm), bolsas plásticas o de tela, entre otros. No se consideraron como paquetes: hojas, sobres de manila, sombrillas, canguros, bolsos pequeños manos libres. Las bicicletas, debido al bajo tráfico que presentaron en el aforo de volúmenes, no se tuvieron en cuenta para velocidades, (ya que no habría datos suficientes para el estudio), en las densidades una bicicleta se asumió como dos personas.

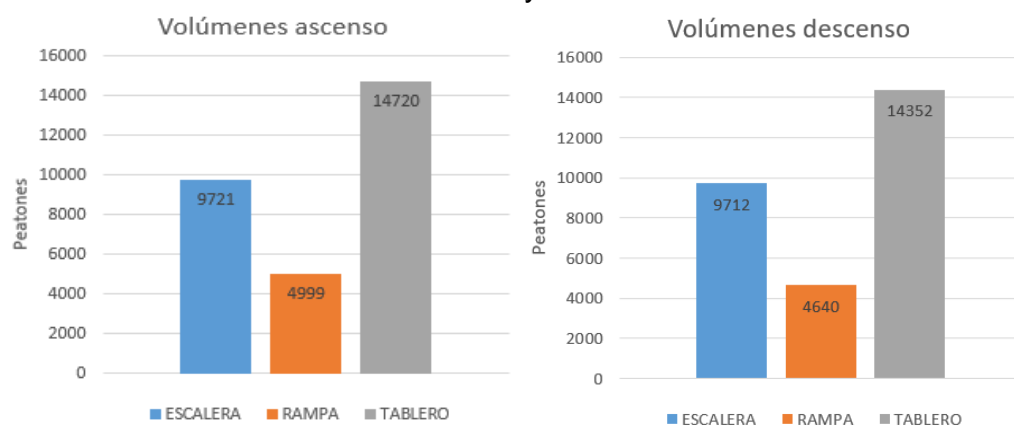
**3.1.3. Tabulación y análisis de la información:** Para realizar un análisis exhaustivo de la información, fue necesario realizar un procesamiento de ésta; organizándola en memorias de cálculo para posteriormente lograr caracterizar las variables macroscópicas del flujo peatonal descritas en el numeral 4.4.2. “variables consideradas”. La relación de estas se calibró en analogía con curvas existentes, permitiendo determinar valores y parámetros representativos en el medio Colombiano, las cuales se describirán en el capítulo de análisis de la información.

✓ **Formatos:** para la respectiva tabulación se usaron formatos de aforo peatonal para volúmenes, densidades y velocidades, los cuales se encuentran disponibles en los anexos A3, A4 y A5 respectivamente.

## 3.2. VOLUMEN PEATONAL

En este subcapítulo se relacionan los volúmenes peatonales obtenidos en las rampas, escalera y tablero existentes en el acceso de la estación de la Calle 100, en las dos direcciones existentes (acceso y salida). Específicamente en este caso, los volúmenes de la rampa intermedia son iguales a los del tablero, por ende no se relacionarán por separado. El gráfico 3, relaciona los *volúmenes totales* obtenidos durante 8 horas, considerando periodos característicos. La escalera, rampa y tablero se encuentra en el eje de las abscisas y la cantidad de peatones en el eje de las ordenadas.

Grafico 3. Volúmenes totales de ascenso y descenso en el acceso NO calle 100.

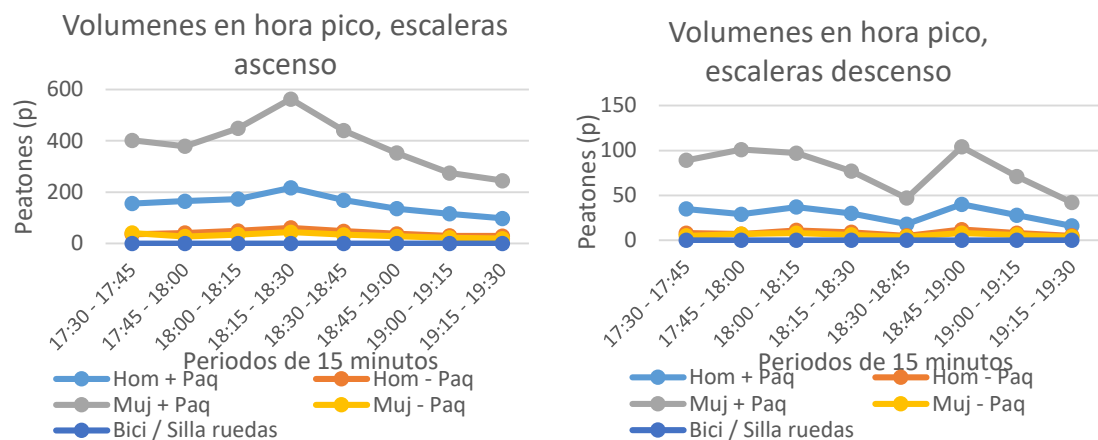


Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las ocho (8) horas aforadas, se determinó un periodo de hora pico, (5:30pm-7:30pm) y un periodo de hora valle, (2:00pm-4:00pm), siendo estos representativos en el conjunto de datos. Se relacionan a continuación, los volúmenes en cada infraestructura, en horas pico y horas valle, divididos por sentido y por característica peatonal, (hombre  $\pm$  paquetes, mujeres  $\pm$  paquetes).

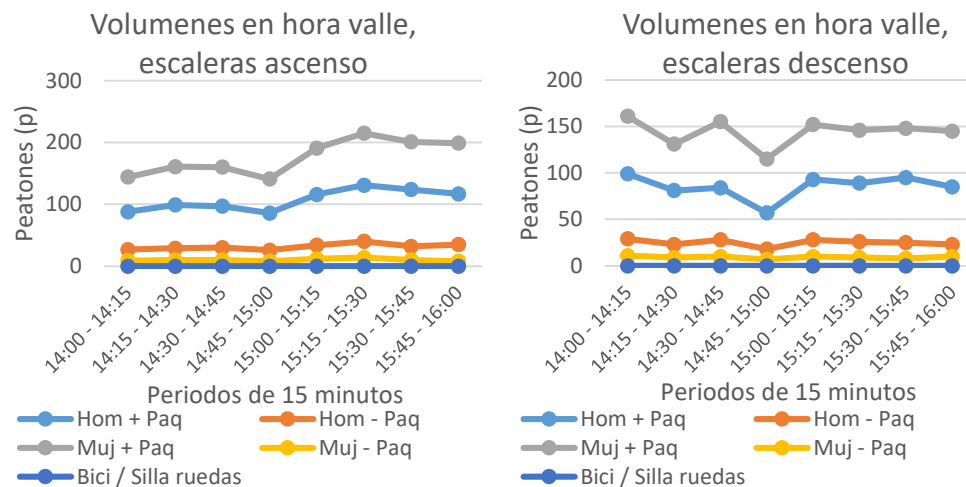
**3.2.1. Volumen peatonal en escaleras:** el gráfico 4 y 5 relaciona los volúmenes peatonales obtenidos en la escalera en hora pico y valle.

Grafico 4. Volúmenes de ascenso y descenso en escalera en hora pico.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 5. Volúmenes de ascenso y descenso en *escalera en hora valle*.

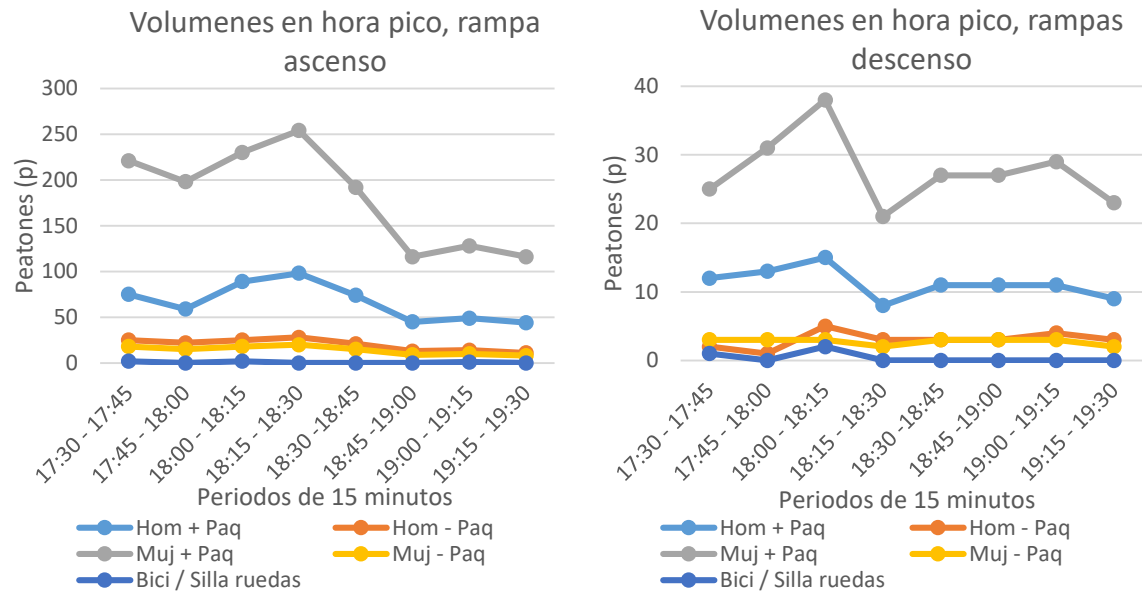


Fuente: Elaboración propia.



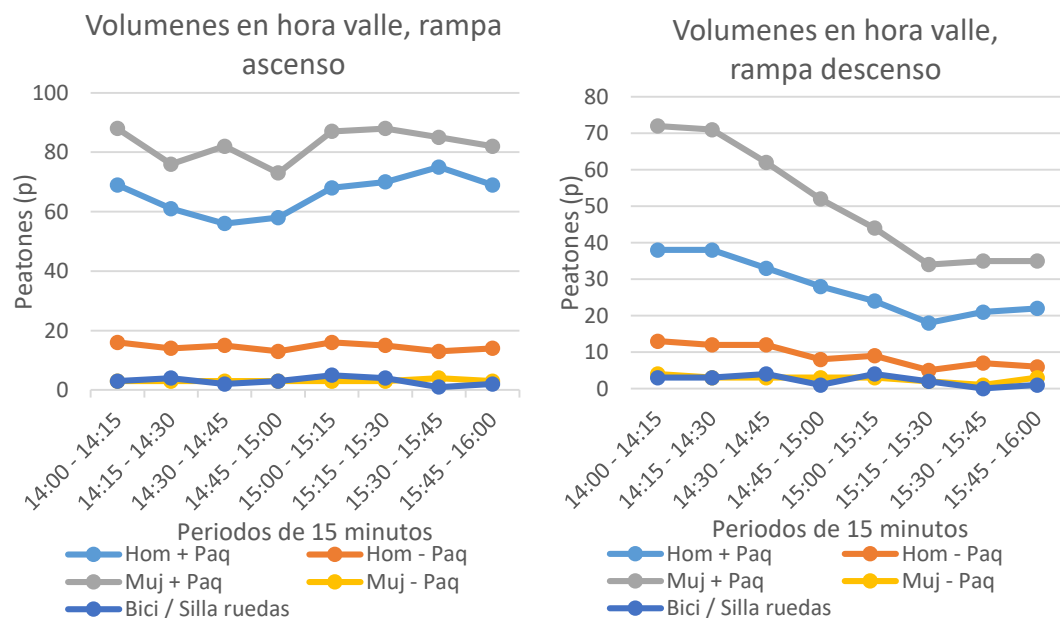
**3.2.2. Volumen peatonal en rampa de acceso:** el gráfico 6 y 7 relaciona los volúmenes peatonales obtenidos la rampa de acceso.

**Grafico 6. Volúmenes de ascenso y descenso en rampa de acceso en hora pico.**



Fuente: Elaboración propia.

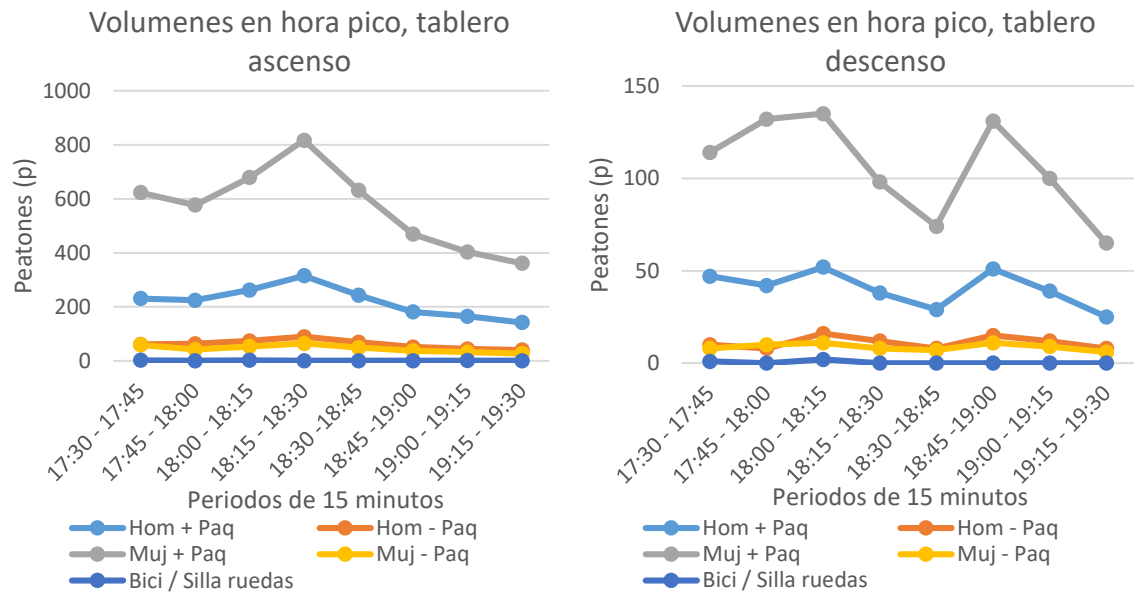
**Grafico 7. Volúmenes de ascenso y descenso en rampa de acceso en hora valle.**



Fuente: Elaboración propia.

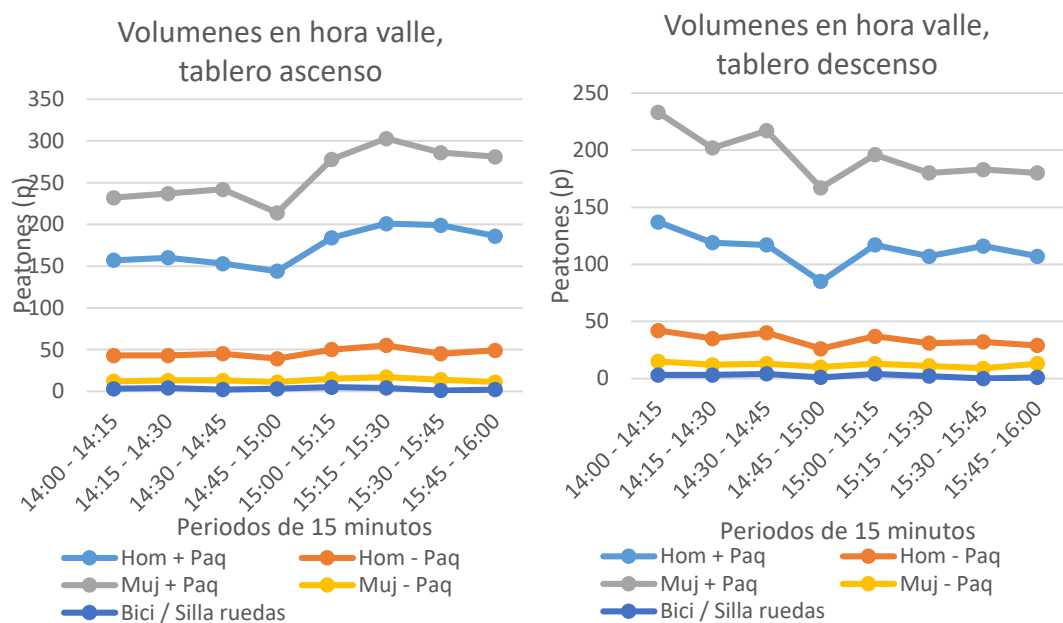
### 3.2.3. Volumen peatonal en tablero: el gráfico 8 y 9 relaciona los volúmenes peatonales obtenidos en el tablero.

Grafico 8. Volúmenes de ascenso y descenso en el tablero en hora pico.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 9. Volúmenes de ascenso y descenso en el tablero en hora valle.



Fuente: Elaboración propia.

Según lo observado directamente en el acceso de la estación durante la captura de la información y según los resultados obtenidos respecto a volúmenes peatonales, se puede concluir que la gente transita con la velocidad que desea en hora valle, mientras que en hora pico se aumenta la demanda hasta 4 veces y el flujo empieza a verse interrumpido.

Se logra observar que teniendo en cuenta los volúmenes y la infraestructura presentada, la mayor congestión se da en la escalera, se concluye que es porque tiene una longitud reducida en comparación con las demás infraestructuras de acceso y por la preferencia de esta ante la rampa. Por otro lado se puede determinar que en horas de la mañana la mayor circulación se presenta en sentido Occidente – Oriente (Salida de la estación) y en horas de la noche viceversa Oriente – Occidente (Acceso a la estación), este fenómeno se debe a que ésta estación es un destino predilecto en horarios laborales, esto se puede atribuir a que está ubicado en una zona comercial y oficinista.

Es indispensable mencionar que los volúmenes en el acceso de la estación aumentan hasta en un 30% en algunos minutos entre periodos, se logró esclarecer que esto ocurre por la llegada inminente de articulados a la estación, por otro lado, en horas pico, a partir de las 7:00pm se presentaron grandes decrecimientos en el volumen, ocasionados por el fin de la hora pico.

### **3.3. DENSIDAD PEATONAL**

La determinación de la densidad peatonal en infraestructuras se realiza con el fin de establecer condiciones operativas, especialmente cuando se trata de evaluar atributos como la comodidad.

A continuación se relacionan los resultados obtenidos acerca de la densidad peatonal en las rampas, escalera y tablero existentes en el acceso de la estación de la Calle 100, en hora pico y valle, los resultados por sentido (acceso y salida) y caracterización peatonal (hombre  $\pm$  paquetes, mujeres  $\pm$  paquetes), se presentan en el anexo magnético A7. Adicional a esto, se justifica el tamaño de la muestra.

**3.3.1. Tamaño de la muestra:** con el fin de definir el número de datos a usar como muestra, se tuvo en cuenta la siguiente ecuación para definir el tamaño de ésta dentro de una población infinita:

$$n \geq \left( \frac{Z_{\alpha/2} * S}{e} \right)^2$$

Donde:

**n:** número de datos requeridos

**Z $\alpha$ :** factor dependiente del nivel de confianza con la que se realizan las mediciones (para un 95%; Z $\alpha$  = 1,96)

**S:** Desviación estándar de las densidades (Se asume 0,08 como desviación estándar, producto de estudios previos desarrollados en torno al asunto<sup>68</sup>)

**e:** error máximo admisible. (Se usó 0,02p/m2, como resultado en previas investigaciones)

$$n \geq \left( \frac{1,96 * 0,08}{0,02} \right)^2 = 61 \text{ datos}$$

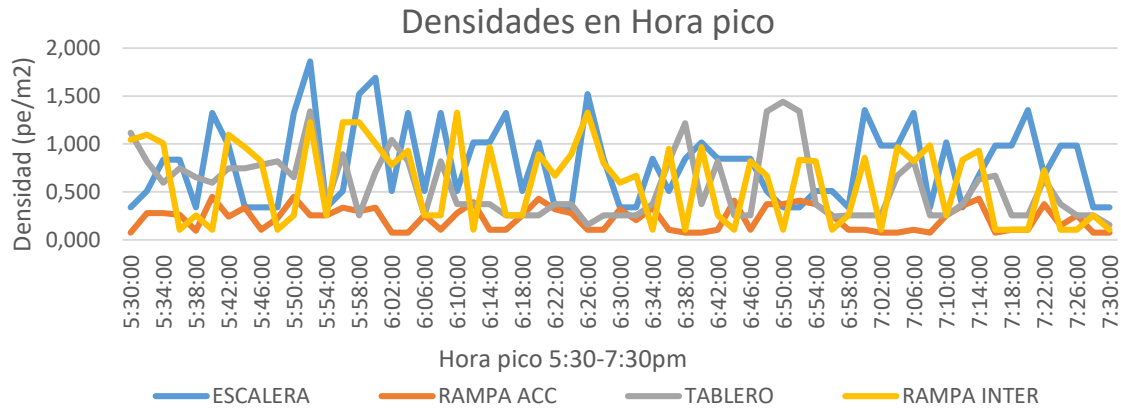
El resultado arroja que la investigación mínimo debe contar con 61 datos de densidades, aun así se decide trabajar con 120 datos por hora, con el fin de evitar grandes dispersiones o sesgos y aumentar la fiabilidad en el procesamiento de la información. Es importante mencionar que el error hipotético para 120 datos es de 0,0143. Las densidades cada 30 segundos se presentan en el anexo A7, a continuación se relacionan los resultados obtenidos cada 2 minutos, (usados para relación de variables).

**3.3.2. Densidad peatonal:** los resultados obtenidos en hora pico y valle en cuanto a densidad peatonal se especifican en los gráficos 10 y 11.

---

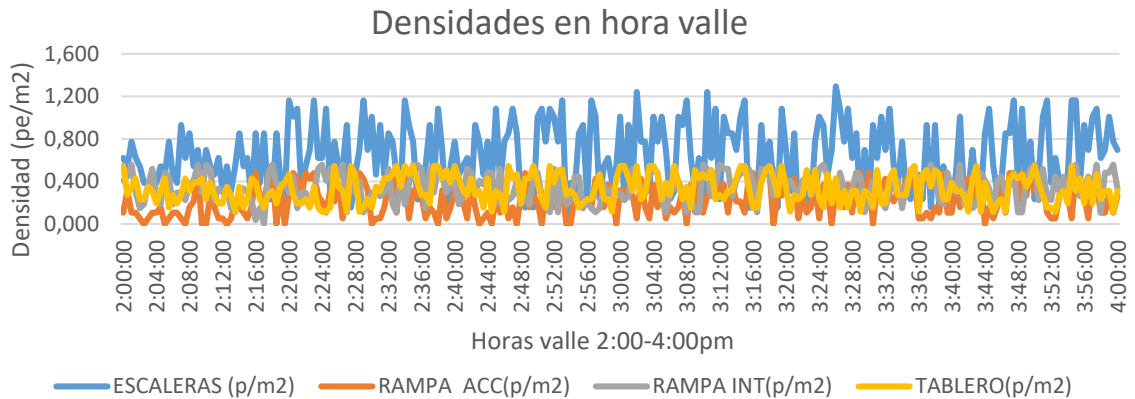
<sup>68</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, 2009. Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tabla 32, página 85.

Grafico 10. Densidades en hora pico en las infraestructuras.



Fuente: Elaboración propia.

Grafico 11. Densidades en hora valle en las infraestructuras.



Elaboración propia.

El resultado de las densidades en cada una de las infraestructuras de acceso de la estación estudio, arroja que tanto en hora pico como en hora valle, la infraestructura más densa peatonalmente es la escalera, se asume que esto se debe principalmente a su infraestructura, lo que permite concluir que la capacidad de la estación está dada por la escalera, esto se especificará más a profundidad en el capítulo de nivel de servicio.

### 3.4. VELOCIDAD PEATONAL

Esta variable permite evaluar el desempeño de los usuarios en el uso de la infraestructura y llegar a determinar los parámetros adecuados para realizar un diseño de optimización de ésta. Es un indicador asociado al nivel de servicio de la infraestructura.

En este apartado se relacionan las velocidades peatonales obtenidas en las rampas, escalera y tablero existentes en el acceso de la estación de la Calle 100, en hora pico y valle, por sentido (acceso y salida) y caracterización peatonal (hombre  $\pm$  paquetes, mujeres  $\pm$  paquetes). Adicional a esto, se justifica el tamaño de la muestra.

**3.4.1. Tamaño de la muestra:** el número de datos de velocidades a tener en cuenta, se definió con la ecuación descrita anteriormente en la medición de las densidades. Es importante tener en cuenta que para este caso, los valores de desviación estándar y error son de 0,2 y 0,05 m/s<sup>69</sup> respectivamente.

$$n \geq \left( \frac{1,96 * 0,2}{0,05} \right)^2 = 62 \text{ datos}$$

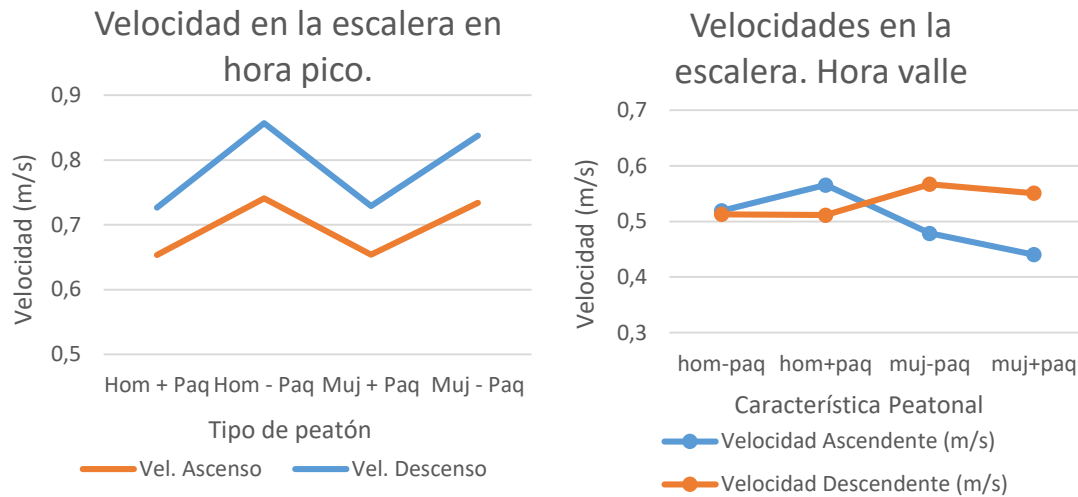
Para este caso, el tamaño de muestra necesario es de 62 datos y al igual que con las densidades, se decide tomar una mayor cantidad de velocidades con el fin de aumentar la fiabilidad de los mismos. Específicamente se usaron 120 datos por hora, de los cuales 60 son de peatones hombres con y sin paquete y 60 de peatones mujeres con y sin paquete. Es importante mencionar que el error hipotético para 120 datos es de 0,0143. Se hubiese deseado caracterizar las velocidades peatonales por edades, pero la falta de personal para la toma de datos y de visual en las grabaciones, dificultaron el procedimiento.

---

<sup>69</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, 2009. Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tabla 32, página 85.

**3.4.2. Velocidad peatonal en escaleras:** el gráfico 12 relaciona el promedio de las velocidades obtenidas en la escalera del acceso de la estación, tanto en ascenso como en descenso, en hora pico y valle.

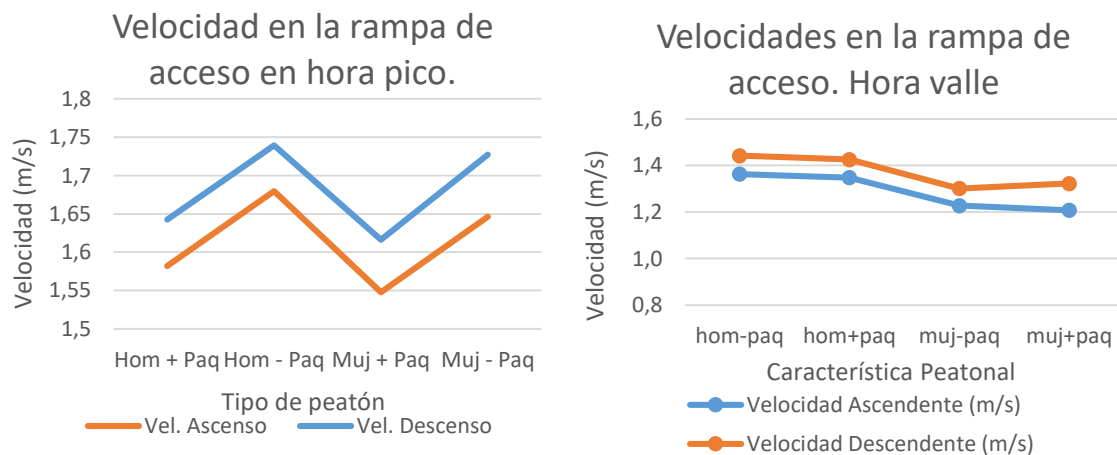
Grafico 12. Promedio de las V de ascenso y descenso, escalera, hora pico y valle.



Fuente: Elaboración propia.

**3.4.3. Velocidad peatonal en rampa de acceso:** el gráfico 13 relaciona el promedio de las velocidades obtenidas en la rampa de acceso de la estación, en ascenso y descenso, hora pico y valle, para cada tipo de peatón.

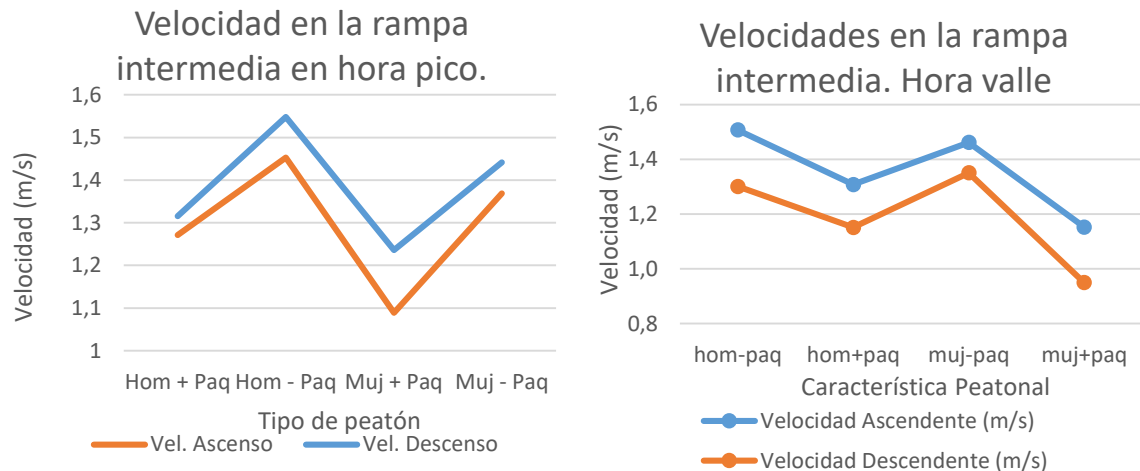
Grafico 13. Promedio de las V ascenso-descenso, rampa acc., hora pico y valle.



Fuente: Elaboración propia.

**3.4.4. Velocidad peatonal en rampa intermedia:** el gráfico 14 relaciona el promedio de las velocidades obtenidas en la rampa intermedia del acceso de la estación, para ascenso y descenso, hora pico y hora valle.

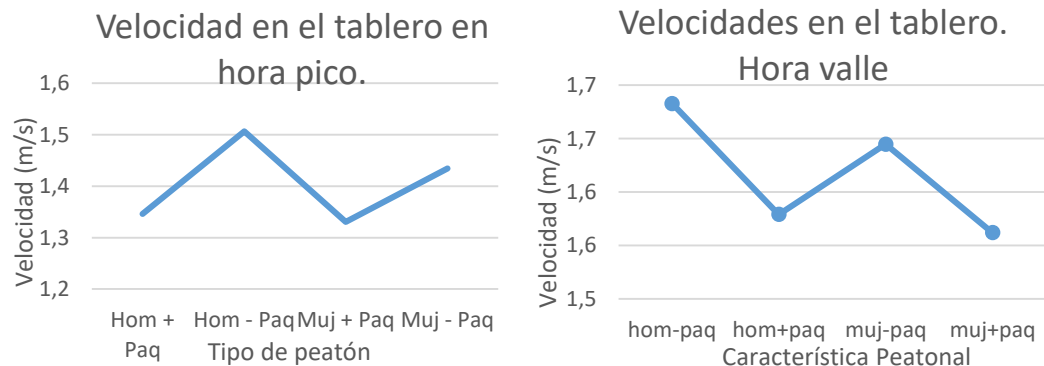
Grafico 14. Promedio de las Velocidades de ascenso-descenso, rampa intermedia, hora pico y valle.



Fuente: Elaboración propia.

**3.4.5. Velocidad peatonal en tablero:** el gráfico 15 relaciona el promedio de las velocidades obtenidas en el tablero del puente, del acceso de la estación, en hora pico y valle; En este caso específico al no existir pendiente, se asumió que la velocidad de ascenso es igual a la velocidad de descenso.

Grafico 15. Promedio de las V de ascenso y descenso, tablero, hora pico y valle.



Fuente: Elaboración propia.



Al observar cada uno de los resultados se puede concluir que las velocidades de descenso son mayores a las velocidades de ascenso, que los hombres caminan más rápido que las mujeres y que los peatones con paquete son más lentos que los que no llevan paquete, los porcentajes y apreciaciones varían según el tipo de peatón, infraestructura, sentido y hora pico/valle del día. Los resultados obtenidos se interpretarán a profundidad al ser relacionados los modelos calibrados en la investigación.

### **3.5. PROBABILIDAD NORMAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

La prueba de normalidad se le realiza a un conjunto de datos con el fin de determinar si estos provienen de una población distribuida normalmente. Para este caso, se usó el Software Minitab 18, el cual es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas. Con el fin de determinar si los datos eran “normales”, se calcularon gráficas de probabilidad normal y se aplicó la prueba del lápiz grueso, siendo esta una herramienta útil y rápida en la evaluación de una muestra.

La prueba de lápiz gruesa consiste básicamente en generar una gráfica de probabilidad y dibujarle imaginariamente a la línea ajustada, un lápiz grueso. Si este cubre todos los puntos en la gráfica, probablemente los datos son normales y en caso contrario, si los puntos están lo suficientemente alejados de la línea ajustada como para estar por fuera de los bordes del lápiz grueso, es probable que se trate de datos no normales.<sup>70</sup>

Por otro lado, el valor de “P”, representa la probabilidad de obtener una estadística de prueba, que sea por lo menos tan extrema como el valor calculado, si la hipótesis nula es verdadera, siendo la hipótesis nula, la probabilidad de que los datos sigan una distribución normal.<sup>71</sup>

Finalmente al analizar el valor de “P”, este debe ser mayor a 0,05 si los datos presentan una distribución normal y en este caso el valor representativo del conjunto de datos es la media, en caso contrario, el valor representativo es la mediana.

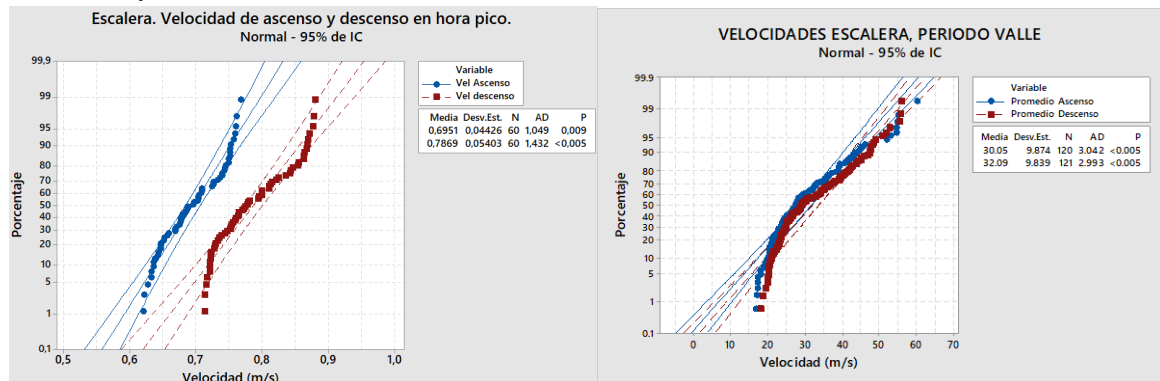
---

<sup>70</sup> Minitab Statistical Software. Soporte, sección ayuda.

<sup>71</sup> Minitab Statistical Software. Soporte, sección ayuda.

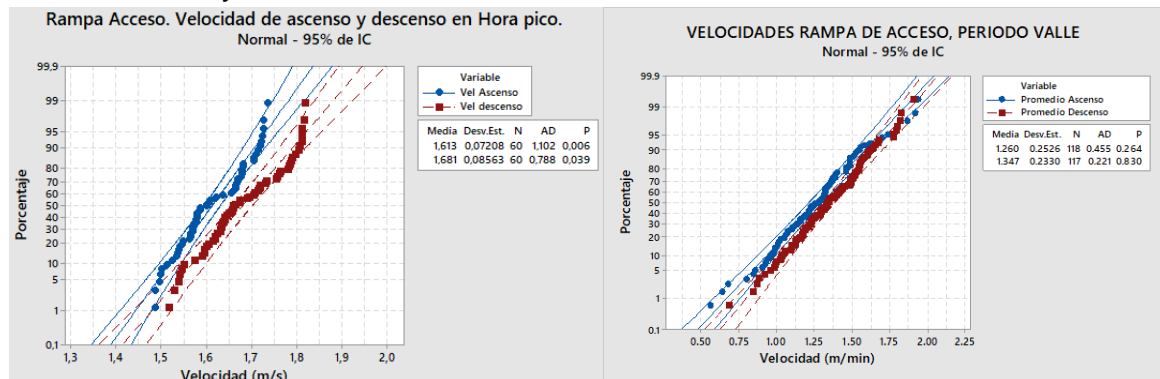
A continuación en los gráficos 16, 17, 18 y 19 se relacionan las gráficas de probabilidad para cada una de las infraestructuras, es necesario mencionar que la normalización se le realizó al promedio de los resultados obtenidos de cada tipo de peatón.

Grafico 16. Normalización de la velocidad en escaleras en hora pico y valle, ascenso y descenso.



Fuente: Elaboración propia, desde Minitab 18.

Grafico 17. Normalización de la velocidad en la rampa de acceso en hora pico y valle, ascenso y descenso

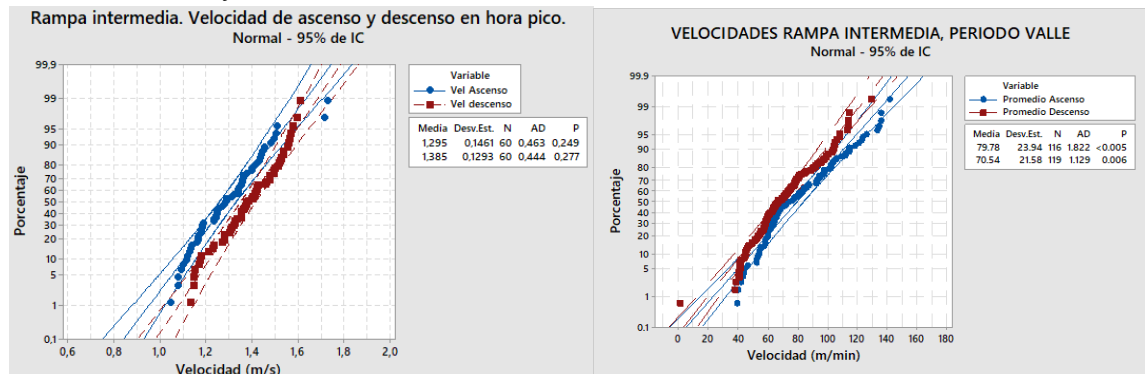


Fuente: Elaboración propia desde Minitab 18.

Se logra observar que la distribución de la velocidad tanto de la escalera como de la rampa de acceso en hora pico y valle, no es normal, ya que por un lado presenta puntos fuera de la línea imaginaria del lápiz grueso y por otro lado, el valor de P es menor de 0,05. Teniendo en cuenta lo anterior, los valores representativos para la velocidad de ascenso y descenso en la escalera y en la

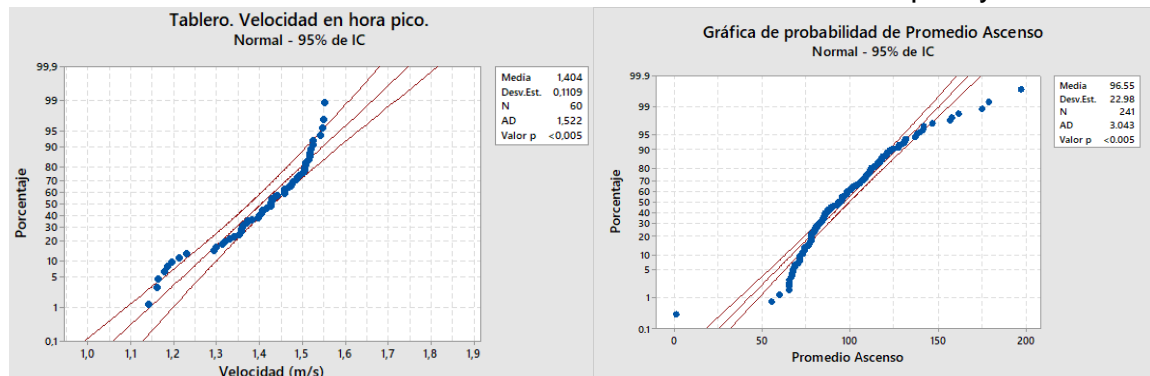
rampa de acceso es la mediana de los datos. Hay una excepción y es la velocidad de descenso en la rampa de acceso para el periodo valle, aquí se usará la media como valor representativo ya que el valor de P es mayor a 0,05.

Grafico 18. Normalización de la velocidad en la rampa intermedia en hora pico y valle, ascenso y descenso



Fuente: Elaboración propia desde Minitab 18.

Grafico 19. Normalización de la velocidad en el tablero en hora pico y valle.



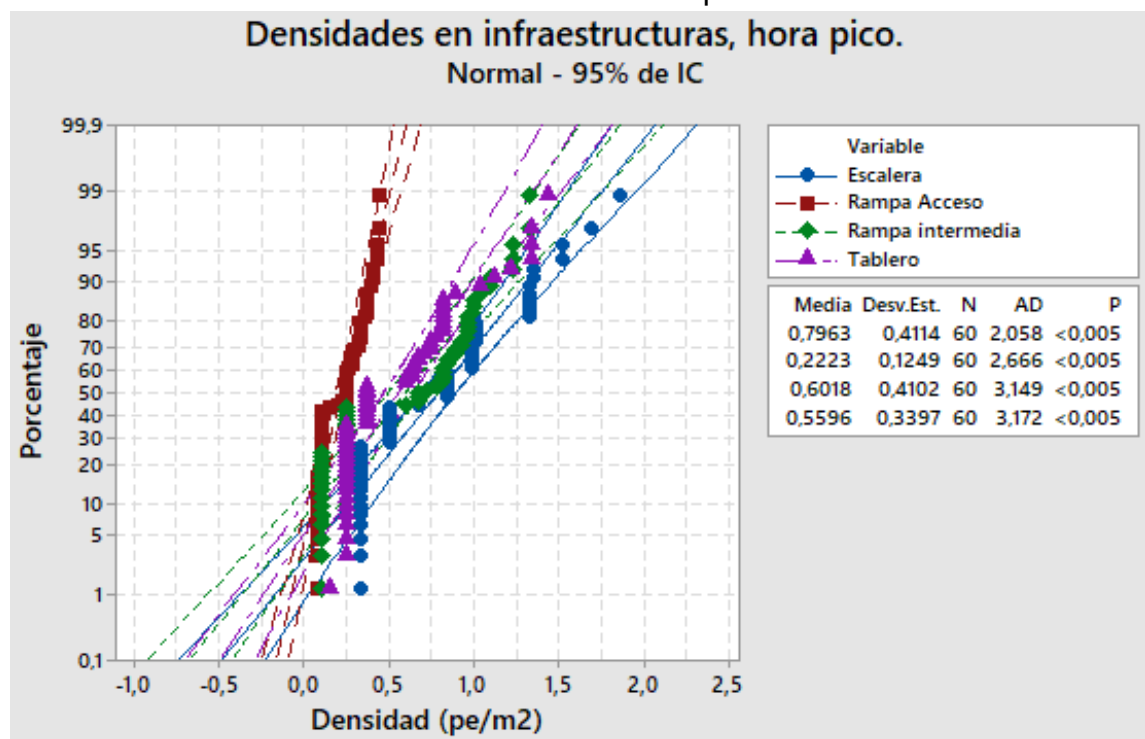
Fuente: Elaboración propia desde Minitab 18.

Al ver los resultados obtenidos en la normalización de la rampa intermedia y del tablero, se logra observar que la distribución de la velocidad tanto en hora pico como en hora valle, no es normal, ya que presenta puntos fuera de la línea imaginaria del lápiz grueso y el valor de P es menor de 0,05. Teniendo en cuenta lo anterior, al igual que en la escalera y en la rampa de acceso, los valores representativos para la velocidad de ascenso y descenso en la rampa intermedia y en el tablero es la mediana de los datos.

Es preciso aclarar que a los datos experimentales se les aplicó el criterio de Chauvenet,<sup>72</sup> el cual consiste en calcular la media y la desviación estándar de la muestra y descartar lecturas si la probabilidad de obtener esta desviación en particular con respecto a la media es menor de  $0.5n$ , siendo  $n$  el dato a tratar.

Por otro lado, los gráficos 20 y 21, presentan la distribución agrupada de los datos de densidad en hora pico y valle, para cada una de las infraestructuras, este gráfico especifica valores de media, desviación estándar, número de datos, valor estadístico de Anderson Darling AD, (mientras mejor se ajuste el estadístico de datos, menor será el valor de AD) y el valor de P para cada uno de los conjuntos de datos.

Gráfico 20. Normalización de la densidad en hora pico.

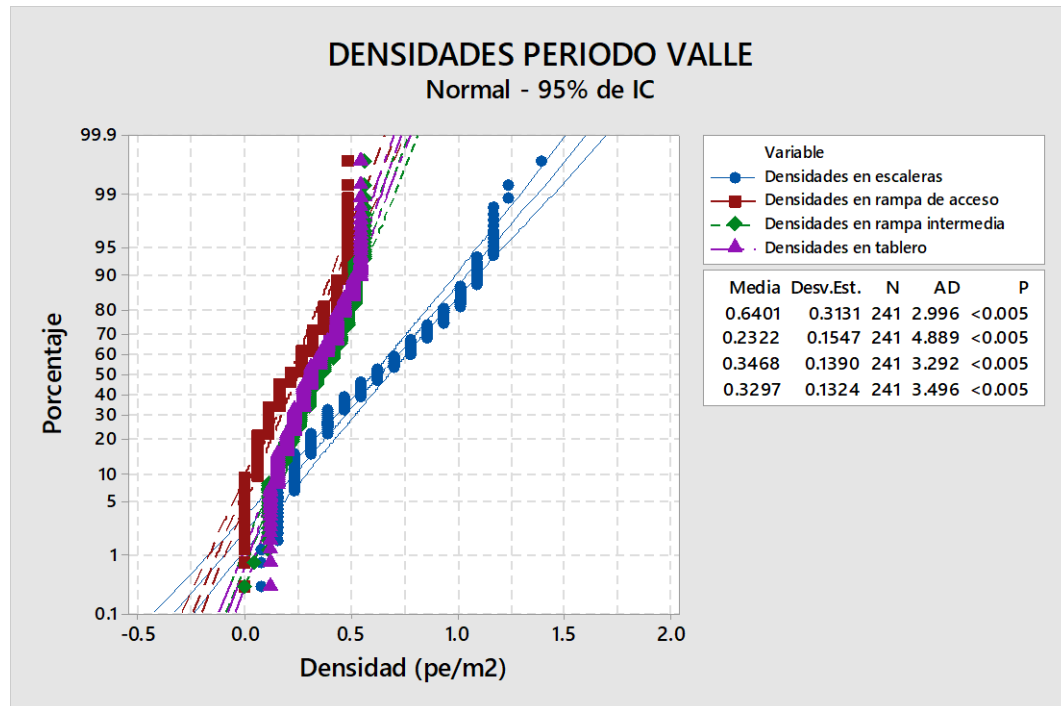


Fuente: Elaboración propia.

<sup>72</sup> Taylor, John R. An Introduction to Error Analysis. 2nd edition. Sausalito, California: University Science Books, 1997. pp 166-8.

Al considerar la normalización de las densidades, se logra observar que ésta también presenta una distribución anormal, es preciso mencionar que esta distribución puede darse en los datos tanto de velocidades como de densidades, debido a los micro-picos que se forman entre periodos por la llegada inminente de usuarios a la estación en los articulados.

Grafico 21. Normalización de la densidad en hora valle



Fuente: Elaboración propia.

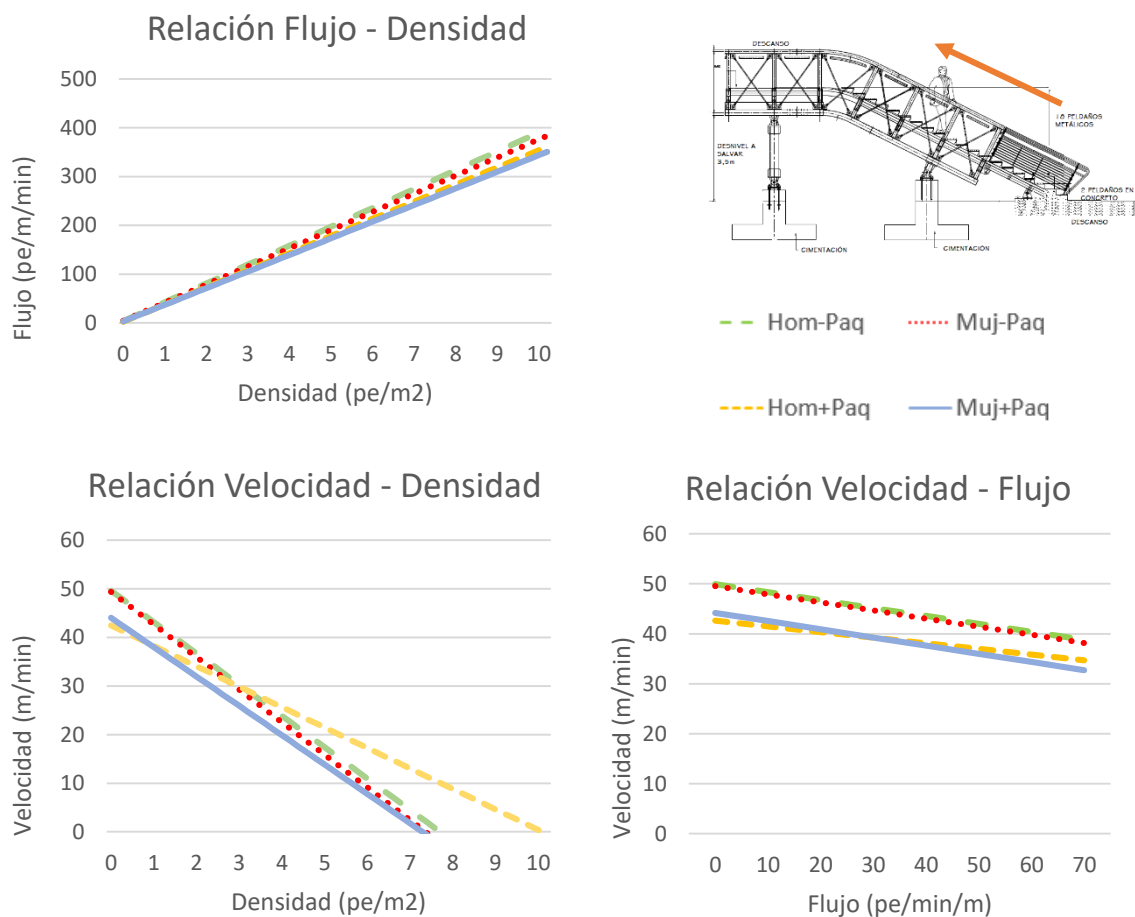
### 3.6. RELACIONES ENTRE VARIABLES MACROSCÓPICAS DEL FLUJO PEATONAL

En este apartado se presentan las relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal, estas se calibraron para hora pico, hora valle, ascenso y descenso en cada una de las infraestructuras peatonales (Escalera, rampa de acceso, rampa intermedia y tablero). Se decidió considerar por separado la calibración de los modelos de ascenso - descenso y hora pico - hora valle, ya que en la bibliografía encontrada se destaca que para diseño de instalaciones se usan los

modelos de ascenso y los periodos pico. Aun así se quiso determinar y dejar un precedente de los comportamientos en hora valle y descenso.

**3.6.1. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la escalera:** los Gráficos 22 y 23 relacionan los modelos calibrados en ascenso y descenso en la escalera de ascenso en hora pico; Los gráficos 24 y 25 las relaciones para escalera en hora valle. Seguidamente se realizan unos breves comentarios acerca de los resultados obtenidos.

Grafico 22. Relaciones entre variables. *Hora pico. Ascenso Escalera.*



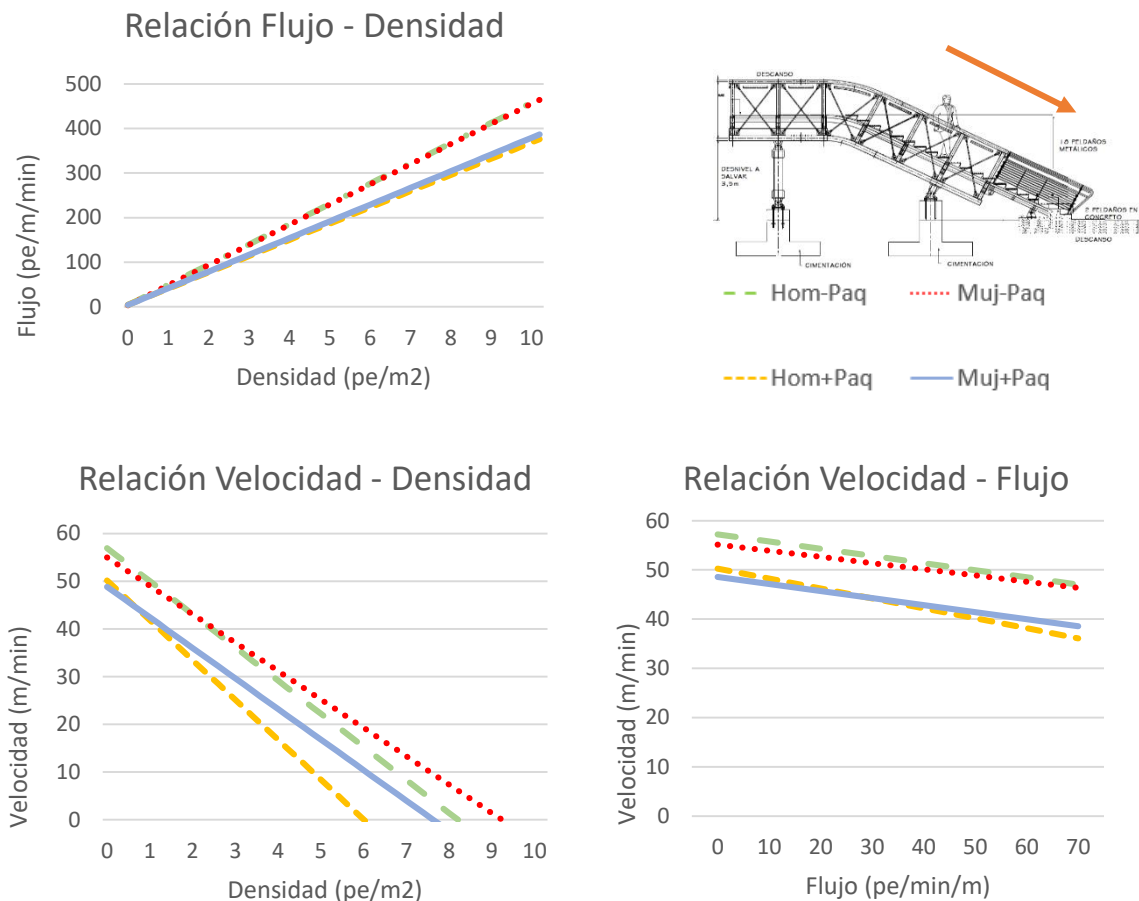
Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 22 permite observar que a medida que aumenta la densidad peatonal en la escalera, la velocidad sin importar el tipo de peatón disminuye considerablemente. Cuando la densidad en la escalera es de cero (0), es decir cuando en ese instante de tiempo no hay peatones en un área determinada de la infraestructura, los hombres y mujeres que transitan sin paquete alcanzan velocidades hasta de 50m/min y 49m/min respectivamente o 0,83m/seg y 0,81m/seg aprox. y los hombres y mujeres que suben la escalera con un paquete, en flujo totalmente libre, llegan a alcanzar velocidades hasta de 42 y 45m/min respectivamente, o 0,7 y 0,75m/s respectivamente, lo cual aprueba que las mujeres suben más rápido las escaleras cuando llevan equipaje y los hombres cuando no llevan equipaje.

Por otro lado se presentó un fenómeno que es importante resaltar, a medida que aumenta la densidad, la velocidad del hombre con paquete disminuye a una menor rata en comparación con los demás tipos de peatones estudiados en el ascenso de la escalera, esto puede deberse a comportamientos propios de su naturaleza y a la pendiente del modelo calibrado, por la distribución misma de los datos.

Además de ello, la velocidad varía mínimamente entre hombres y mujeres con paquete y hombres y mujeres sin paquete cuando la densidad presenta una mediana 0,837 pe/m<sup>2</sup>, el cual es su dato representativo, con esta misma densidad, cuando los peatones llevan paquete su velocidad de caminata se reduce a 49m/min o 0,65m/s y cuando los peatones no llevan paquete su velocidad es de 45m/min o 0,75m/min, lo cual permite concluir que el paquete afecta la velocidad peatonal en el ascenso de la escalera, de un 13-15% aproximadamente, según el tipo de peatón.

Grafico 23. Relaciones entre variables. *Hora pico. Descenso Escalera.*

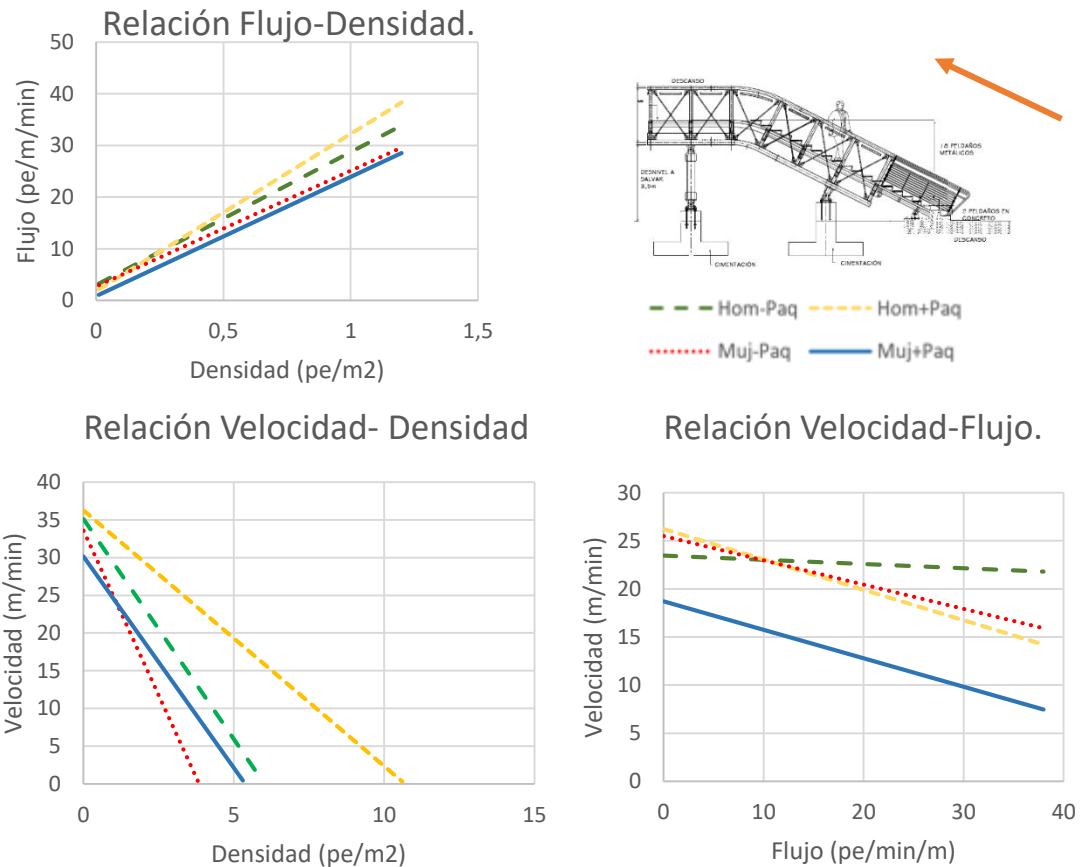


Fuente: Elaboración propia.

Los comportamientos peatonales de descenso en la escalera, en comparación con los de ascenso presentan grandes variaciones, alrededor del 15% en la velocidad mediana, esto se puede corroborar en la gráfica 22 y 23. En los modelos relacionados con el descenso peatonal en escaleras, se logra observar que los hombres así lleven o no paquete descienden más rápido, aunque a medida que aumenta la densidad, las mujeres con o sin paquete comparadas con los hombres con o sin paquete disminuyen un rata más baja en la velocidad, esto se puede atribuir a la posible diferencia de elipses corporales en el género, teniendo en cuenta el afán con que transitan las personas.



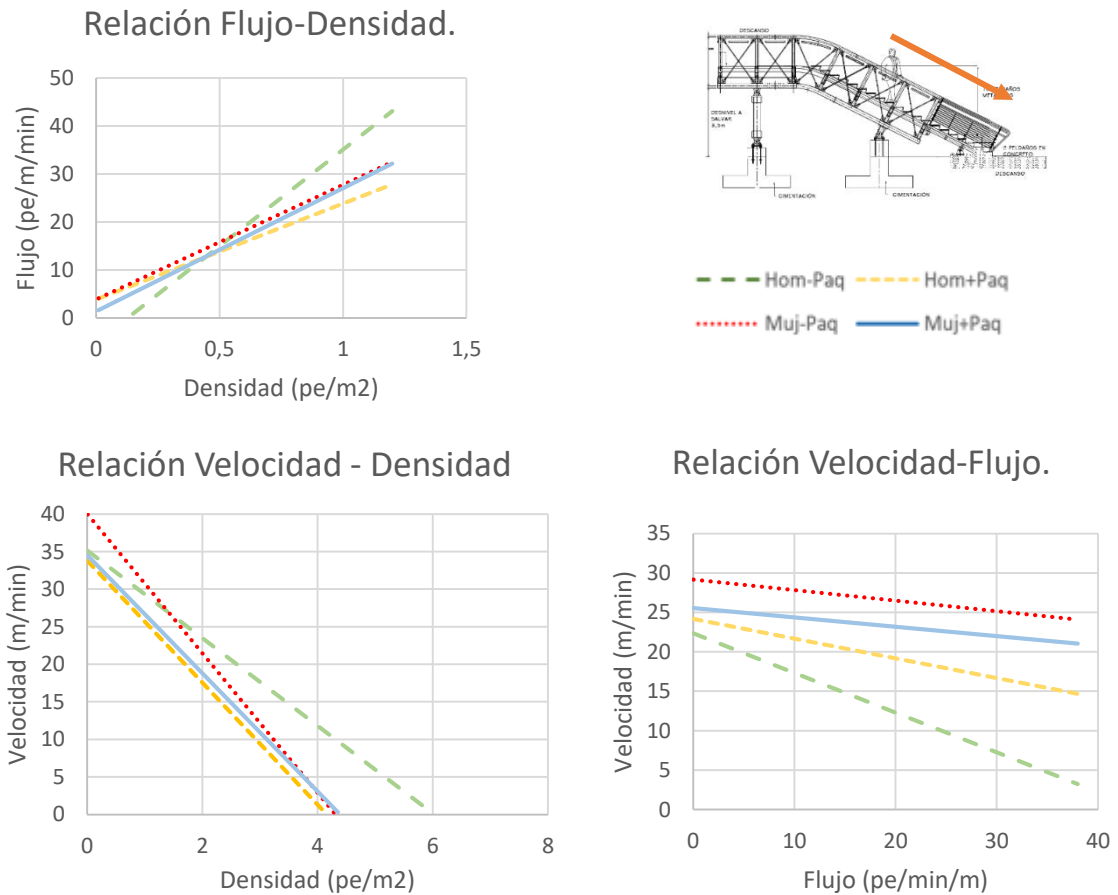
Grafico 24. Relaciones entre variables. *Hora valle. Ascenso Escalera.*



Fuente: Elaboración propia.

En hora valle, las velocidades máximas peatonales al ascender la escalera descienden considerablemente, alrededor de 10 y 15 m/min, en comparación con las velocidades máximas de ascenso de escalera en hora pico. Por otro lado se puede observar que la densidad máxima que se puede presentar cuando la velocidad sea de 0m/min, oscila entre 3,8 y 10,6pe/m<sup>2</sup> según el tipo de peatón y el flujo máximo que se presenta según la mediana de la densidad (0,6pe/m<sup>2</sup>) es de 15 a 20 pe/m/min.

Grafico 25. Relaciones entre variables. *Hora valle. Descenso Escalera.*

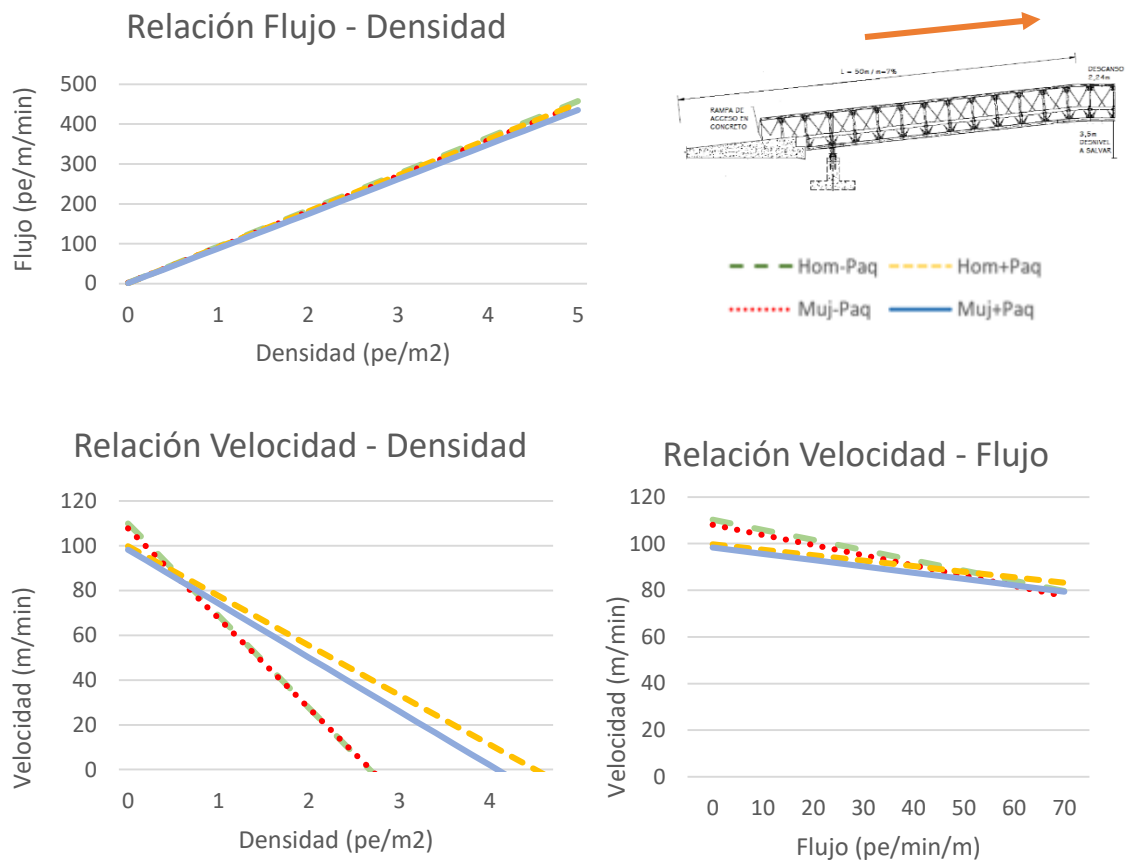


Fuente: Elaboración propia.

Al realizar una comparación de las velocidades de ascenso y descenso en la escalera en hora valle, esta descenso aumenta en 5m/min aproximadamente para cada tipo de peatón con respecto a la velocidad de ascenso, este fenómeno se debe principalmente a la medida con la que los peatones descienden escaleras, cuidando de sufrir un resbalo o caída. Por otro lado, la densidad en descenso disminuye comparada con la de ascenso, debido a que en la hora valle estudiada (2:00-4:00pm), el mayor flujo de usuarios se da intentando acceder a la estación, logrando así una disminución considerable en el flujo respecto a la velocidad y respecto a la densidad. Por otro lado se puede observar que los hombres y mujeres con paquete conservan la misma tendencia de velocidad, sin importar la densidad presente en la infraestructura.

**3.6.2. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la rampa de acceso:** los Gráficos 26 y 27 relacionan los modelos calibrados en ascenso y descenso en la rampa de acceso ( $m=7\%$ ) en hora pico; Los gráficos 28 y 29 las relaciones para la rampa de acceso en hora valle. Seguidamente se realizan unos breves comentarios acerca de los resultados obtenidos.

Grafico 26. Relaciones entre variables. *Hora pico. Ascenso, rampa de acceso.*



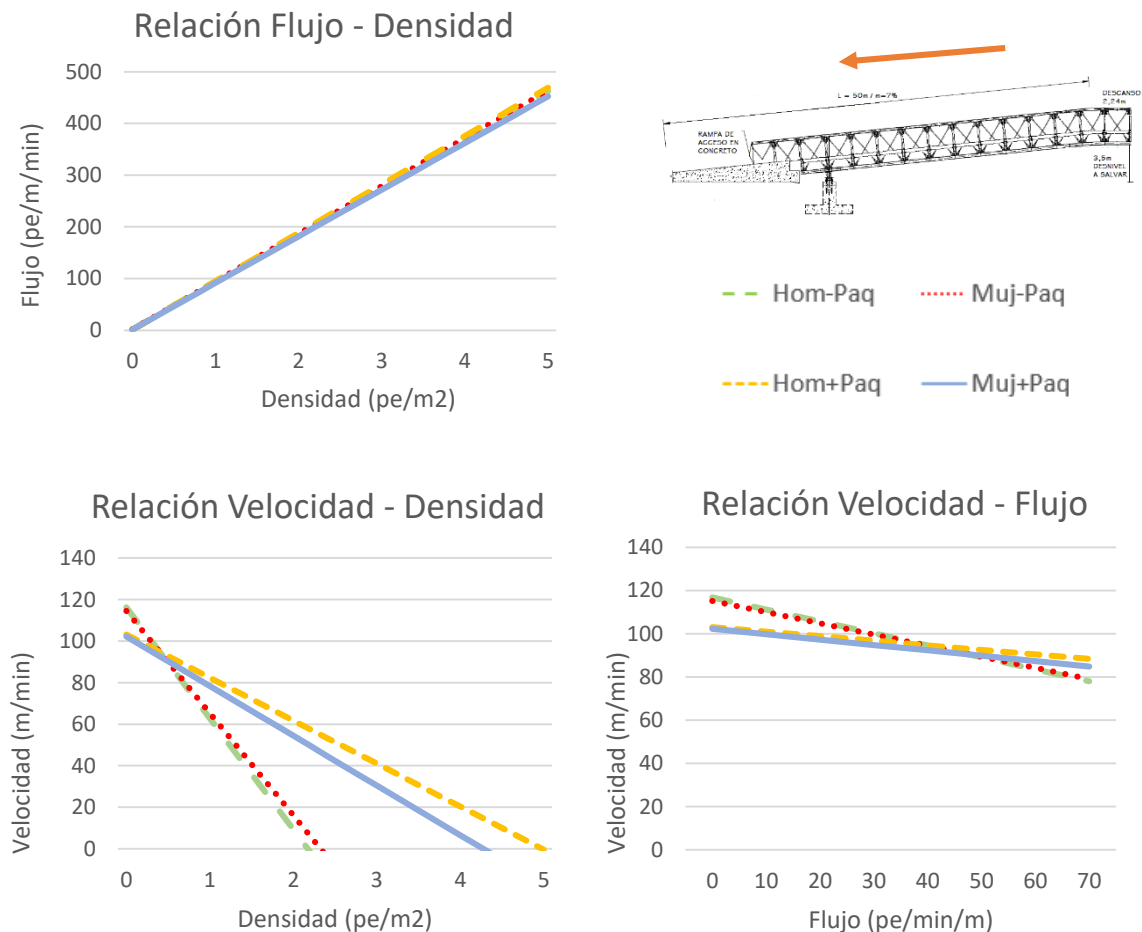
Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de ascenso en la rampa de acceso, es alta comparada con la de las escaleras, aproximadamente  $>50\%$ , esto se debe a la baja densidad que esta presenta y a la facilidad de caminata según los deseos propios del peatón, se puede observar que cuando la densidad es cero, los peatones pueden caminar a una velocidad entre 98 y 110 m/min o 1,6 y 1,8 m/s, cuando la densidad adquiere el valor de la mediana ( $0,25pe/m^2$ , siendo este dato el representativo de la

muestra), los peatones presentan una velocidad de 85-95m/min o 1,4-1,5m/seg, según el tipo de peatón.

Por otro lado, se obtuvo un menor decrecimiento en la velocidad de los usuarios con paquetes en comparación con los peatones sin paquetes, es decir que se encontró una mayor densidad pe/m2 de peatones con paquetes.

Grafico 27. Relaciones entre variables. *Hora pico. Descenso, rampa de acceso*



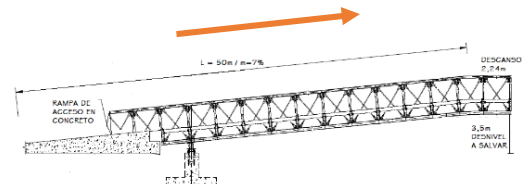
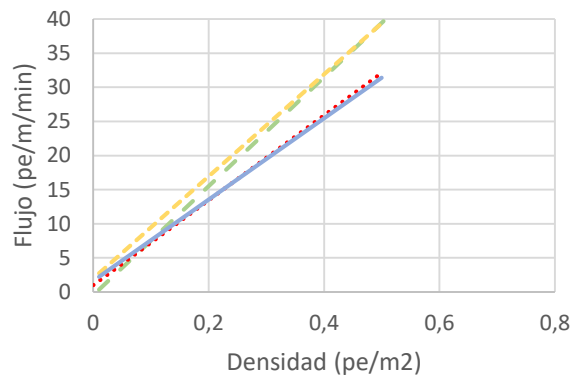
Fuente: Elaboración propia.

De los modelos calibrados entre variables macroscópicas en el descenso de la rampa de acceso en hora pico, se puede determinar que los hombres con o sin paquete caminan más rápido que las mujeres con o sin paquete. Cuando la densidad es de cero, los peatones presentan velocidades las cuales oscilan entre

100 y 118m/min o 1,6 y 1,9 m/seg, según el tipo de peatón, en este caso los más rápidos son los hombres sin paquete. En peatones sin paquete la velocidad es de cero cuando hay 2,4 pe/m<sup>2</sup>, y en peatones con paquete la velocidad es de cero cuando la densidad oscila entre 4,2 y 5 pe/m<sup>2</sup>. En comparación con la velocidad de ascenso, los peatones en general descienden la rampa de acceso aproximadamente un 18% más rápido con una densidad de cero, y con densidad mediana, descienden un 9% más rápido. Estos porcentajes varían dependiendo del tipo de peatón.

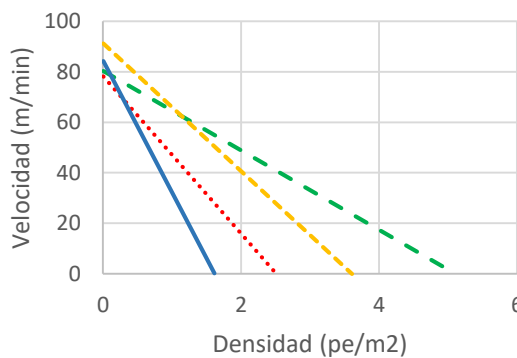
Grafico 28. Relaciones entre variables. *Hora Valle. Ascenso, rampa de acceso.*

#### Relación Flujo-Densidad.

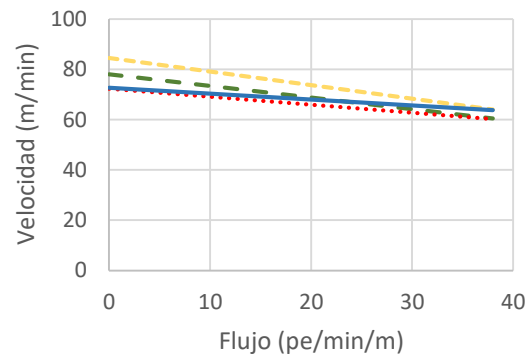


— Hom-Paq — Hom+Paq  
 ..... Muj-Paq — Muj+Paq

#### Relación Velocidad- Densidad



#### Relación Velocidad-Flujo.

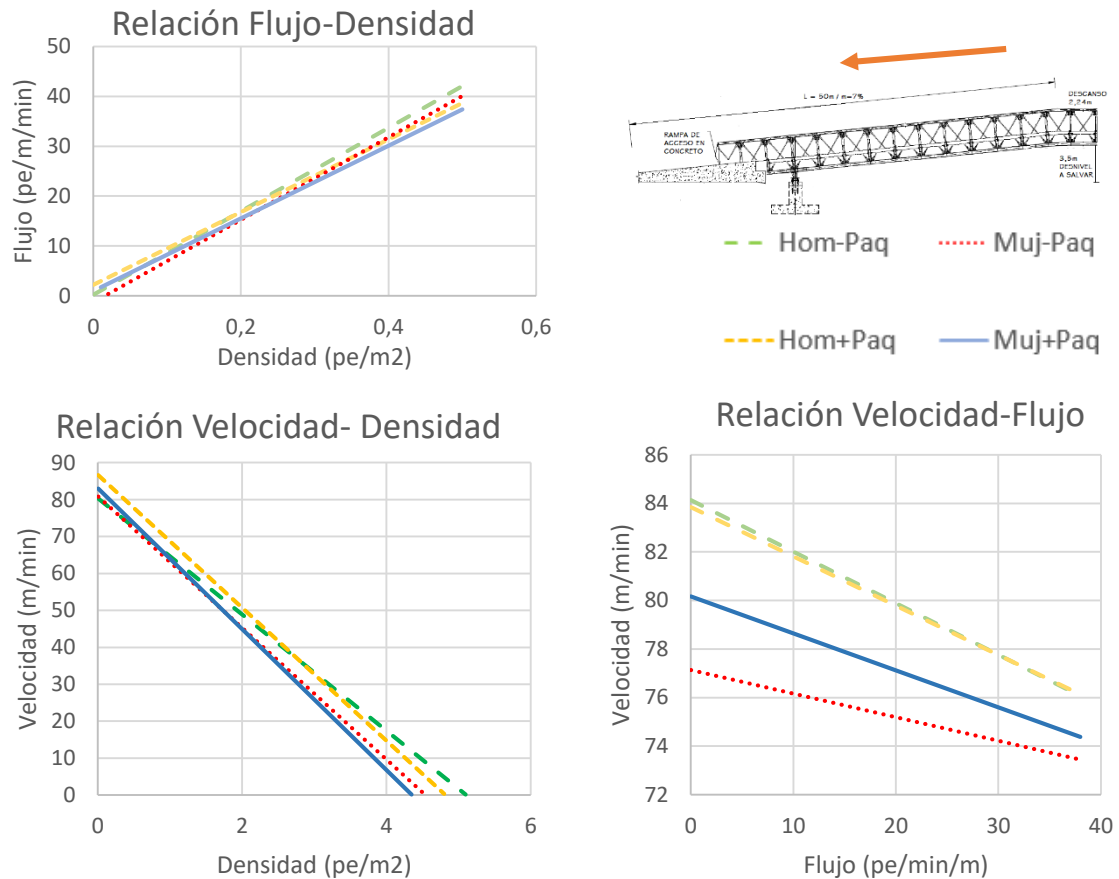


Fuente: Elaboración propia.

Las densidades que presenta la rampa de acceso son inferiores comparadas con las que interactúan en los demás tipos de infraestructuras, eso se debe

principalmente a que la rampa de acceso sirve como complemento a la escalera, su uso influye principalmente por el gusto de las personas y su capacidad de movilidad. Se logra determinar también que las mujeres presentan una menor densidad en comparación con los hombres, tengan o no tengan paquete; que los usuarios que caminan con mayor rapidez son los que poseen paquete, aunque la rata de velocidad con respecto a la densidad de los hombres con y sin paquete, disminuya en menor proporción comparada con la de las mujeres con y sin paquete. Finalmente la mayor tasa de flujo la presentan los hombres, respecto a las mujeres.

Grafico 29. Relaciones entre variables. *Hora valle. Descenso, rampa de acceso*



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 29 permite percibir que la velocidad máxima de caminata de descenso en la rampa de acceso no difiere en gran magnitud respecto a la de ascenso, presentando valores de 80-85m/min o 1,3 y 1,4m/s, este valor varía según el tipo

**3.6.3. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en la rampa intermedia:** los Gráficos 30 y 31 relacionan los modelos calibrados en ascenso y descenso en la rampa intermedia en hora pico; Los gráficos 32 y 33 las relaciones para la rampa de acceso en hora valle. Seguidamente se realizan unos breves comentarios acerca de los resultados obtenidos.

The figure consists of four graphs and a diagram illustrating the relationship between flow, velocity, and density for different bridge types.

**Top Left Graph: Relación Flujo - Densidad**  
 Y-axis: Flujo (pe/m/min)  
 X-axis: Densidad (pe/m<sup>2</sup>)  
 Legend: Hom-Paq (green dashed line), Muj-Paq (red dotted line), Hom+Paq (yellow dashed line), Muj+Paq (blue solid line).  
 The graph shows a positive linear relationship between flow and density for all four bridge types. Hom-Paq has the highest flow values, followed by Muj-Paq, Hom+Paq, and Muj+Paq.

**Top Right Diagram: Diagrama de un puente**  
 The diagram shows a cross-section of a bridge with a truss structure. Key components labeled include: ESTACADO (deck), COLUMNAS (columns), VIGAS (beams), and CALZADO (roadway). Dimensions shown are L = 10.0 m and L = 8.0 m. An orange arrow indicates the direction of flow.

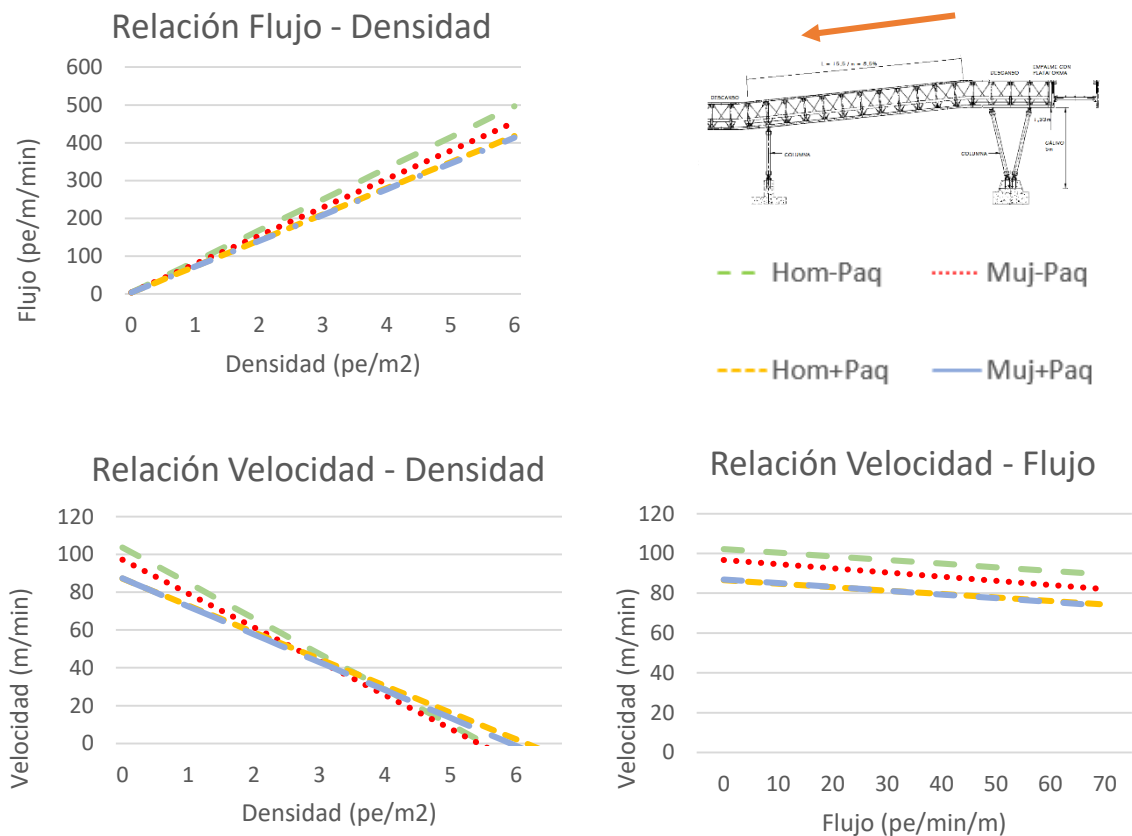
**Bottom Left Graph: Relación Velocidad - Densidad**  
 Y-axis: Velocidad (m/min)  
 X-axis: Densidad (pe/m<sup>2</sup>)  
 Legend: Hom-Paq (green dashed line), Muj-Paq (red dotted line), Hom+Paq (yellow dashed line), Muj+Paq (blue solid line).  
 The graph shows a negative linear relationship between velocity and density for all four bridge types. Hom-Paq has the highest velocity values, followed by Muj-Paq, Hom+Paq, and Muj+Paq.

**Bottom Right Graph: Relación Velocidad - Flujo**  
 Y-axis: Velocidad (m/min)  
 X-axis: Flujo (pe/m/min/m)  
 Legend: Hom-Paq (green dashed line), Muj-Paq (red dotted line), Hom+Paq (yellow dashed line), Muj+Paq (blue solid line).  
 The graph shows a negative linear relationship between velocity and flow for all four bridge types. Hom-Paq has the highest velocity values, followed by Muj-Paq, Hom+Paq, and Muj+Paq.

87

La densidad de la rampa intermedia permite observar que después de la escalera, esta es la infraestructura de acceso más cargada, presentando una densidad mediana de 0,67pe/m<sup>2</sup> y una velocidad mediana que oscila entre 75 y 82m/min o 1,2 y 1,3m/s según el tipo de peatón, siendo la mayor velocidad la del hombre sin paquete y la menor la de la mujer con paquete. Por otro lado cuando la densidad es cero, los peatones alcanzan velocidades que oscilan entre 83 y 95m/min o 1,4 y 1,6m/s según el tipo de peatón y cuando la velocidad está totalmente interrumpida (0m/s), hay una densidad peatonal que oscila entre 4,2 y 6,5pe/m<sup>2</sup>.

Grafico 31. Relaciones entre variables. *Hora pico. Descenso, rampa intermedia.*

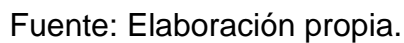


Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de descenso en la rampa intermedia oscila entre 87 y 103m/min cuando la densidad es de 0pe/m<sup>2</sup>, comparado con la velocidad de ascenso, en general es aproximadamente el 20% mayor, (estos porcentajes varían según el tipo de peatón). Lo cual permite concluir que una rampa con el 8,5% de pendiente



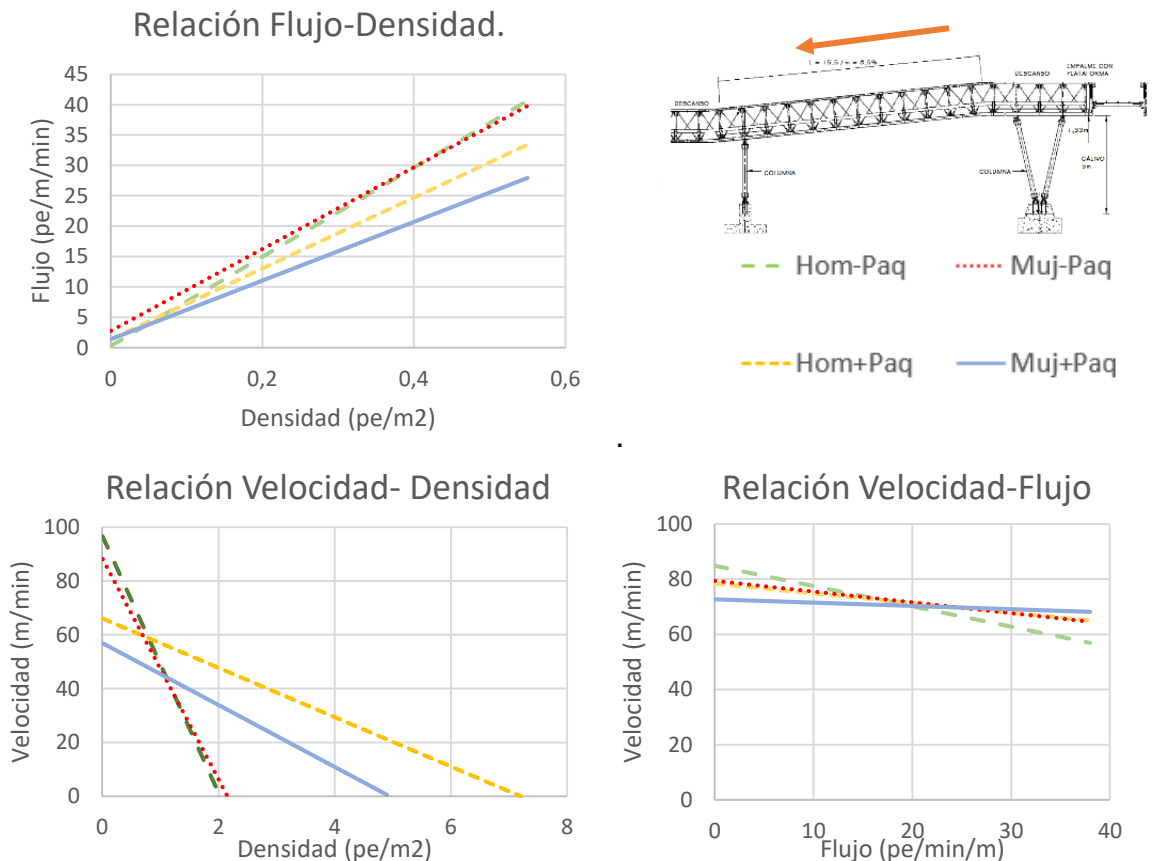
Grafico 32. Relaciones entre variables. *Hora Valle. Ascenso, rampa intermedia.*



89

peatón son similares en densidad cuando la velocidad toma un valor de cero. Por otro lado, el flujo determinado con la velocidad mediana, oscila entre 20 y 25 pe/min/m, según el tipo de peatón y este desciende más rápido en mujeres con paquete, teniendo en cuenta su velocidad.

Grafico 33. Relaciones entre variables. *Hora Valle. Descenso, rampa intermedia*



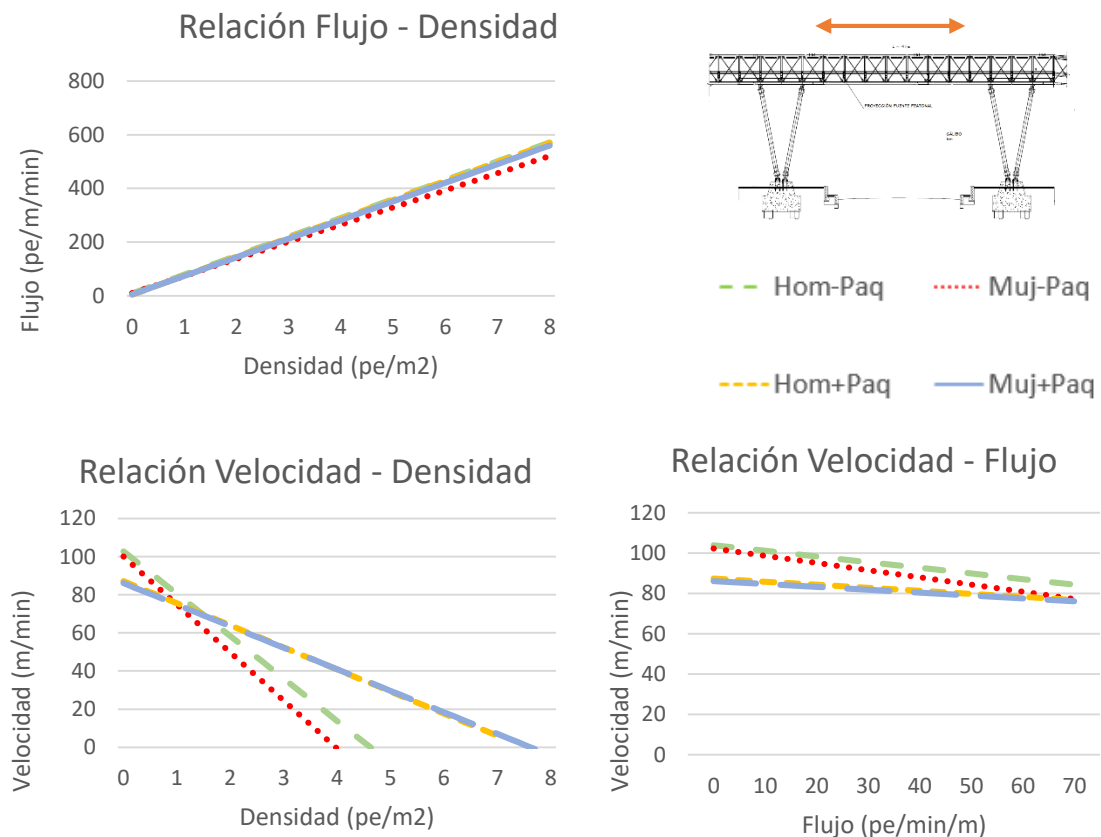
Fuente: Elaboración propia.

La densidad en la rapa intermedia, aumenta considerablemente en comparación con los demás tipos de infraestructura, excepto con la escalera que en este caso es la construcción más densa peatonalmente. Su velocidad máxima, es decir cuando la densidad es de 0pe/m2, alcanza magnitudes de hasta 90 y 100 m/min o 1,5 y 1,6m/s. En esta estructura en descenso, los hombres y mujeres sin paquete presentan mayores velocidades máximas que los que transitan con paquete, estos caminan aproximadamente un 35% más rápido, esto se debe a la ligereza del

peatón y su disminución de elipse corporal para realizar maniobras de adelantamiento.

**3.6.4. Relaciones entre variables macroscópicas del flujo peatonal en el tablero:** el Gráfico 34 relaciona los modelos calibrados para el tablero del puente en hora pico; El gráfico 35 las relaciones para el tablero en hora valle.

Gráfico 34. Relaciones entre variables. *Hora pico. Tablero del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

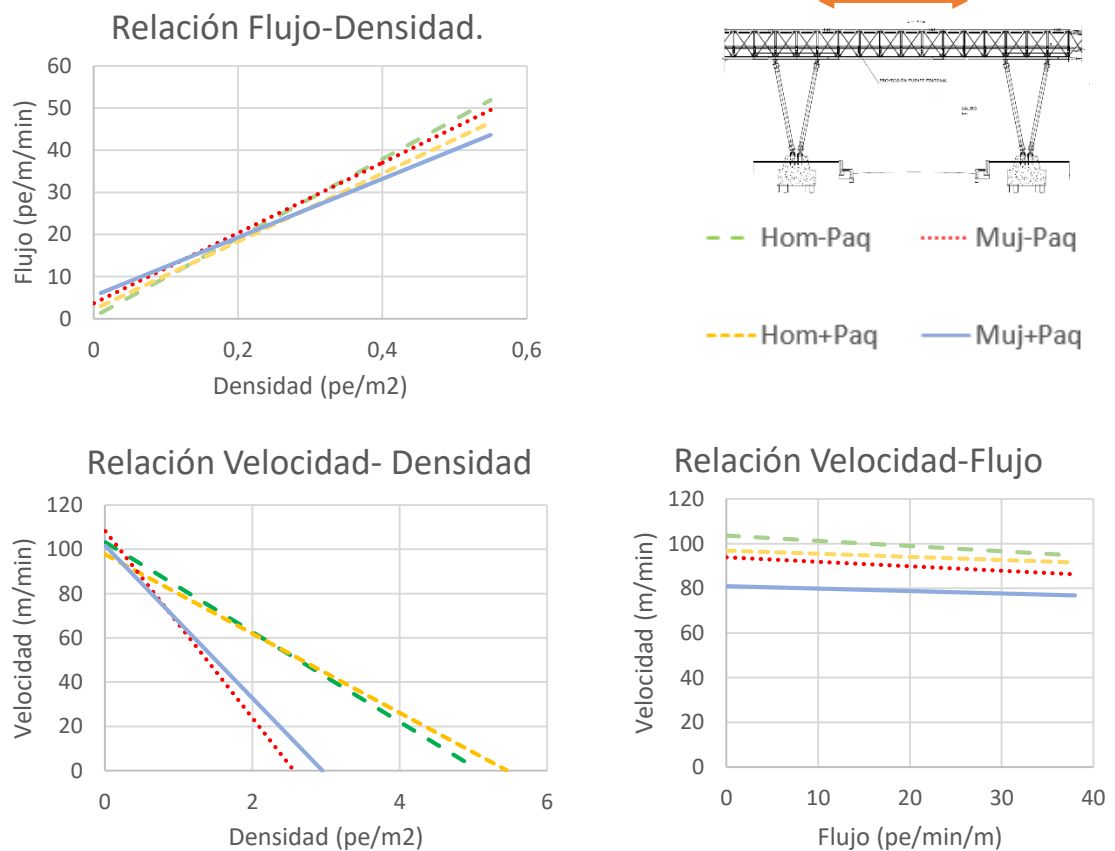
Se observa que la velocidad del peatón en el tablero del puente cuando la densidad es de 0 pe/m<sup>2</sup> es muy similar con la velocidad encontrada en la rampa intermedia, es decir, un aproximado de 87 y 103 m/min, más sin embargo al aumentarse la densidad se observa que la velocidad de los peatones con paquete (ya sea hombre o mujer) presenta variaciones mínimas, cuando la velocidad es

cero, es decir cuando el movimiento es totalmente reducido, la densidad de peatones con paquete es 7,6pe/m<sup>2</sup>, mientras que los usuarios sin paquete es de 4 y 4,6 pe/m<sup>2</sup>. Este resultado puede darse ya que el volumen y por ende dispersión en los datos de peatones con paquete es mucho mayor.

Se puede concluir que tanto hombres como mujeres con paquete recorren el tablero con similares velocidades, mientras que sin paquete, es el hombre el que recorre con una velocidad mayor el tablero, en comparación con la mujer sin paquete.

Se observa que a nivel general, en hora pico los peatones alcanzan velocidades de  $\pm 1,3$ m/s en promedio durante el recorrido de la infraestructura. Es una velocidad alta en comparación con las densidades encontradas, esto es dado a la prisa de los usuarios por entrar o salir de la infraestructura.

Grafico 35. Relaciones entre variables. *Hora valle. Tablero del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades máximas en hora valle en el tablero en comparación con las de hora pico, se incrementan en un 15% aproximadamente, este porcentaje aunque varía según el tipo de peatón, permite determinar el incremento de la velocidad en estos periodos. Este aumento se debe principalmente a la facilidad con la que los peatones pueden moverse, ya que en hora valle al existir menor densidad peatonal, hay un área suficiente para que los usuarios elijan libremente su velocidad de caminata o puedan sobrepasar otros peatones.

#### **4. COMPARACIÓN ENTRE LA RELACIÓN DE VARIABLES MACROSCÓPICAS OBTENIDAS PARA EL CASO DE LA ESTACIÓN CALLE 100 DE TRANSMILENIO Y LAS RESULTANTES EN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

El análisis del flujo peatonal se remonta ocho décadas atrás, desde las investigaciones de Greenshields<sup>73</sup> con su modelo de flujo lineal, consecuentemente se han venido desarrollando teorías y modelos que ofrecen una amplia gama de interpretaciones del flujo peatonal. Algunos ejemplos de estos son: Lighthill y Whitham<sup>74</sup> con un modelo basado en el comportamiento de las partículas de un fluido; Fruin<sup>75</sup> que es uno de los modelos más difundidos y utilizados en la actualidad por distintas metodologías e investigaciones al proponer dos modelos lineales, uno unidireccional y otro bidireccional en un terminal de buses en New York; Older,<sup>76</sup> estudio los flujos peatonales en los metros y aceras de Londres; Navin y Wheeler,<sup>77</sup> analizaron flujos de estudiantes con prisa y Virkler and Elayadath<sup>78</sup> de personas sin afán en su viaje; Guio<sup>79</sup> el autor con mayor avance investigativo en flujos peatonales en el medio Colombiano, cuya metodología de capacidad y nivel de servicio se usa como referencia en esta investigación; Entre otros.

---

<sup>73</sup> GREENSHIELDS, B. A study of Highway capacity. Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 14. Transportation Research Board. National Research Council. Washington DC. 1934

<sup>74</sup> LIGHTHILL, M.H., and G.B. WHITHAM. On kinematic waves II: a theory of traffic flow on long, crowded roads. Proceedings of the Royal Society of London series A, 229, 317-345. 1955

<sup>75</sup> FRUIN, J. Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designer and Environmental Planners, Inc., New York. 1971.

<sup>76</sup> OLDER, S. J. Movement of pedestrians on footways in shopping streets, Traffic Engineering and Control, Vol.10, pp.160-163. 1988

<sup>77</sup> NAVIN F. P. D. and R. J. WHEELER, Pedestrian flow characteristics, Traffic Engineering, Vol. 39(4), 1969.

<sup>78</sup> VIRKLER, M. R., and ELAYADATH, S. Pedestrian speed-flow-density relationships. Transportation Research Record. 1438, Transportation Research Board, Washington, D.C., 51–58. 1994.

<sup>79</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.

Según Guio,<sup>80</sup> un elevado número de investigadores se inclinan por el estudio de los modelos macroscópicos, ya que creen que son más apropiados para describir correctamente el flujo peatonal, debido a esto se planteó esta investigación considerando infraestructuras continuas a desnivel. Además de ello se especifica que la velocidad de caminata es la variable más importante en la teoría del flujo y por ello se deberían considerar factores externos que puedan influenciarla, como el género, motivo de viaje, clima, si se camina en grupo o individual, si se lleva paquete o no, el ambiente circundante, entre otros.

Es por esta razón es que autores como Al.Azzawi, M y Raeside, R.<sup>81</sup> han concluido que calibrar modelos de flujo peatonal en diferentes tipos de infraestructuras, con variación en las características de estos y con atributos diferentes en el ambiente, es necesario para comprender el comportamiento peatonal en distintas situaciones.

Para esta investigación específicamente, se tendrán en cuenta los resultados de Gibson,<sup>82</sup> quien determinó que los hombres caminan más lento que las mujeres; Morrall,<sup>83</sup> que concluyó que los peatones tienden a caminar más lento, cuando llevan bolsa sin importar su tamaño y El TRRL<sup>84</sup> y Lam y Cheung,<sup>85</sup> quienes dedujeron que las pendientes en aceras influyen la velocidad peatonal si sobrepasan el 3%.

Los resultados obtenidos en esta investigación, muestran que el comportamiento peatonal en Colombia tiene una tendencia similar a lo concluido por autores internacionales referenciados respecto a: tanto en hora valle como en hora pico y en diferentes infraestructuras continuas a desnivel (escaleras, rampa con

---

<sup>80</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.

<sup>81</sup> AL.AZZAWI, M y RAESIDE, R. Modeling pedestrian walking speeds on sidewalks. Journal of Urban planning and Development, Vol. 133, No. 3, September 1, 2007.

<sup>82</sup> GIBSON, G. "Pedestrian activities." Rep. No. FHWA-PL-006, Federal Highways Administration, Washington, D.C. 1980.

<sup>83</sup> MORRALL, J. S., RATNAYAKE, L. L., and SENEVIRATNE, P. N. "Comparison of central business district pedestrian characteristics in various areas." Transportation Research Record. 1294, Transportation Research Board, Washington, D.C., 57–61. 1991.

<sup>84</sup> TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL). Pedestrianised shopping streets. Research Rep. No. 61, Crowthorne, U.K. 1985.

<sup>85</sup> LAM, W. H. K., and CHEUNG, C. Pedestrian speed flow relationships for walking facilities in Hong Kong. J. Transp. Eng., 126\_4\_, 343–349. 2000.

pendiente del 7%, rampa con pendiente del 8,5% y en el tablero del puente), con características peatonales como posesión o no de paquete, los hombres caminan más rápido que las mujeres. Por otro lado, los peatones que presentan paquete, ya sean hombre o mujer, tienden a caminar más lento que los que no llevan paquete. La rampa del 8,5% tiene una densidad similar a la del tablero y se observa que en ascenso la pendiente reduce la velocidad en un 10% y en descenso en un 3%. Por otro lado, en la rampa del 7%, con una longitud de 50m y una densidad considerablemente menor, se observa que se presenta un aumento de la velocidad de 12% en ascenso y 16% en descenso, respecto al tablero con una pendiente asumida del 0%. Lo cual permite determinar que la densidad tiene una influencia mayor sobre la velocidad que la pendiente longitudinal.

Se logró identificar una diferencia significativa en velocidades peatonales ascenso – descenso entre periodos valle y pico; Para las escaleras por ejemplo, en hora pico a pesar de que la densidad aumenta en comparación con la hora valle, la velocidad se acrecienta aproximadamente en un 30%; En la rampa de acceso con una pendiente longitudinal del 7% la velocidad peatonal en hora pico aumenta alrededor del 20% en comparación con la de hora valle; En la rampa intermedia, con una pendiente longitudinal del 8,5%, la velocidad en hora pico aumenta en un 15% con respecto a la velocidad de hora valle; Finalmente en el tablero, se presenta una tendencia diferente, en este caso la velocidad promedio en periodo valle prima en un 15% respecto a su similar de la hora pico.

Como conclusión se asume que la velocidad se ve influenciada por los motivos de viaje de cada peatón. En la ciudad de Bogotá por ejemplo, las horas pico están determinadas por el horario laboral, donde la prisa se apodera de los usuarios presentándose la necesidad de recorrer distancias en el menor tiempo posible.

Por otro lado, se decidió realizar un comparativo entre los resultados obtenidos en los modelos de las variables macroscópicas; Para ello se compararon los modelos lineales obtenidos por Fruin,<sup>86</sup> para flujos unidireccionales en escalera y rampas ( $m=7\%$  y  $m=8,5\%$  Acceso/Intermedia) tanto en ascenso como en descenso; Y Guio<sup>87</sup> en infraestructuras exclusivas en Tunja, también para flujos

---

<sup>86</sup> FRUIN, J. Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designer and Environmental Planners, Inc., New York. 1971.

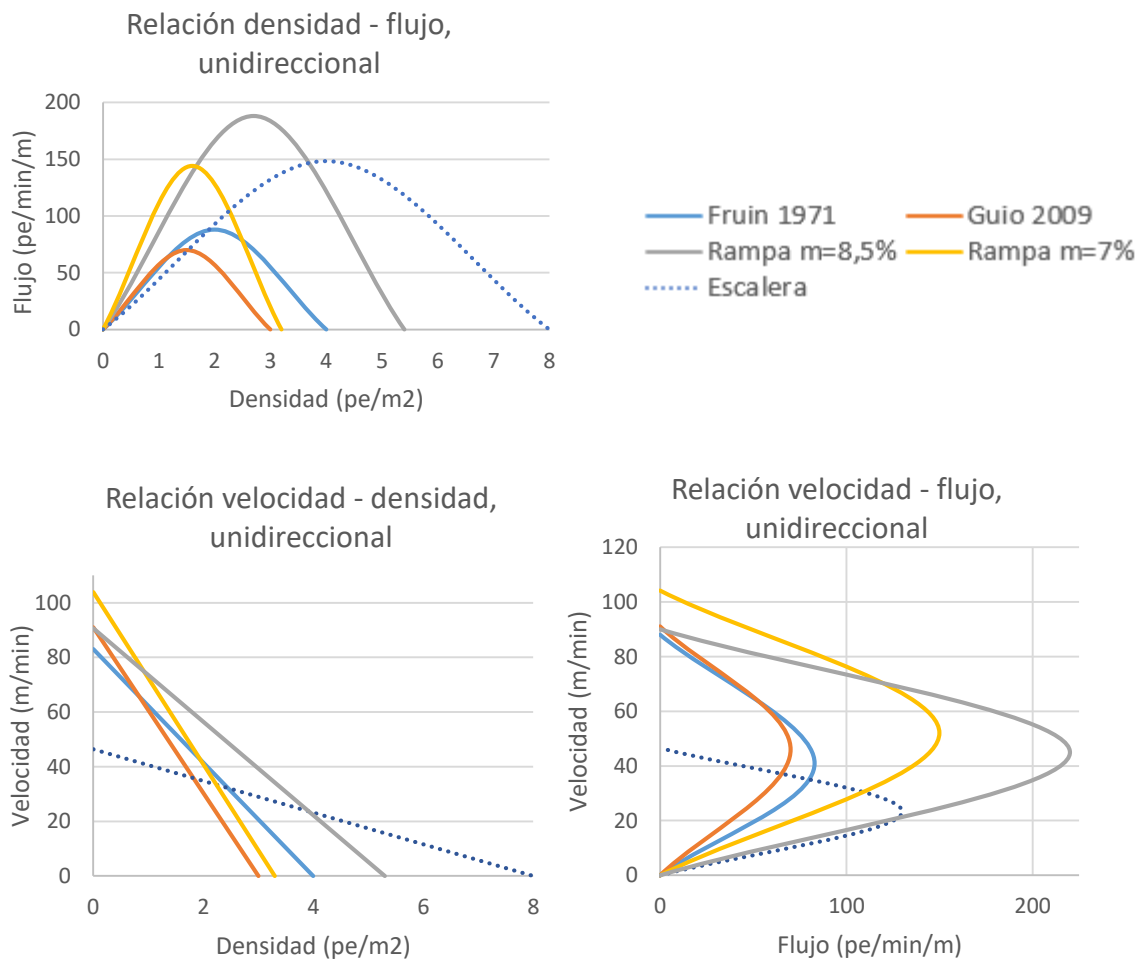
<sup>87</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.



unidireccionales. Para el caso específico del tablero, este se comparó con los modelos lineales teóricos de Fruin y Guio pero usando flujos bidireccionales.

Para realizar los modelos finales comparativos, se promediaron las velocidades de los tipos de peatón, con el fin de obtener una medida representativa.

Grafico 36. Relaciones entre variables macroscópicas en infraestructuras de flujo unidireccional, *de ascenso*.



Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que con los datos recolectados en el acceso de la estación no se completó la nube de puntos que se pretendía, ya que durante el aforo no se presentaron instantes de flujo inestable o forzado. Para ello fue

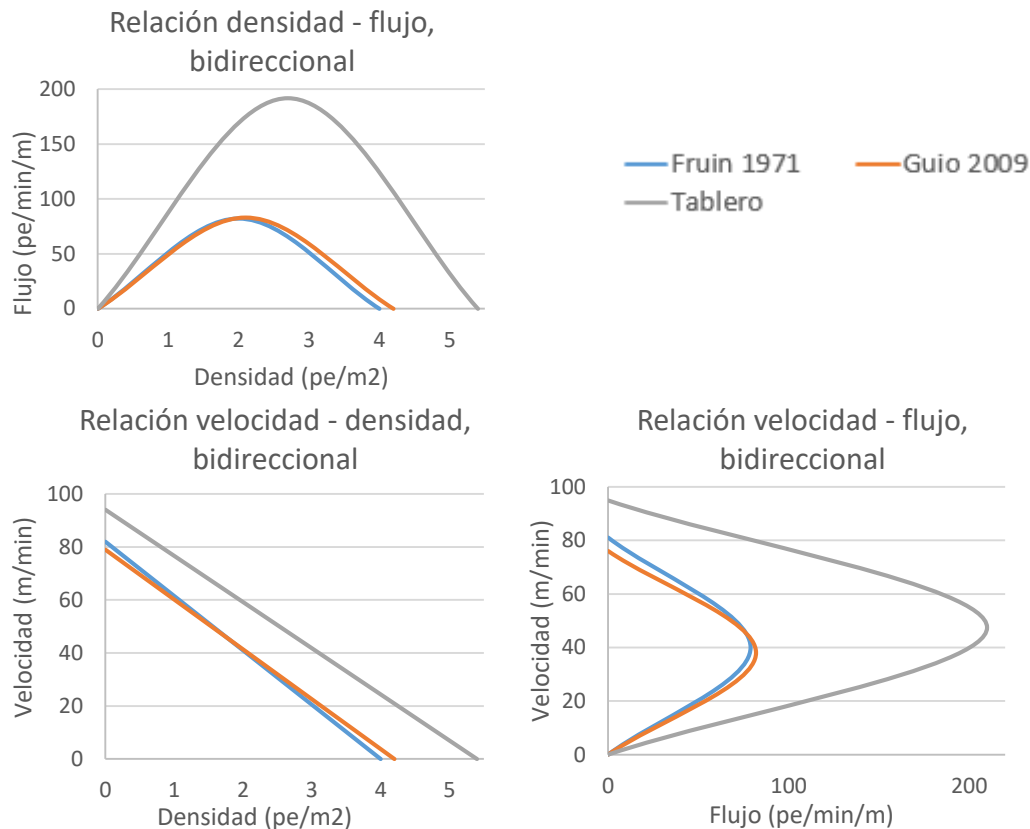
necesario recrear las posibles condiciones a presentarse a través de una regresión lineal y por ende es posible que las relaciones presentadas en el gráfico 36 no representen adecuadamente los comportamientos del entorno.

Se puede observar que los modelos aquí relacionados, presentan variaciones con los modelos teóricos de Fruin y Guio, tanto en velocidad – densidad y densidad – flujo, como en velocidad – flujo, se puede observar que el modelo de la rampa intermedia de 8,5% de pendiente longitudinal, se asemeja al modelo de Guio en cuanto a la velocidad máxima, estando esta alrededor de 90m/min o 1,5m/s, la velocidad de la rampa de acceso es mucho mayor a la obtenida en los modelos teóricos de Guio y Fruin, esto se debe a que en la estación ésta es la infraestructura menos densa peatonalmente, aproximadamente 3,3pe/m<sup>2</sup> es la densidad máxima que se presentaría en casos extremos, mientras que el modelo de Guio presenta 3pe/m<sup>2</sup> y el modelo de Fruin 4pe/m<sup>2</sup>. Estos resultados tienen que ver directamente con las características propias donde fueron realizados los estudios y el tipo de infraestructura estudiada, es importante mencionar que los modelos de Fruin y Guio fueron calibrados en aceras y vías exclusivas.

Por otro lado, al realizar las comparaciones pertinentes entre el tablero y los modelos de Fruin y Guio para flujos bidireccionales, (Ver gráfico 37) se observa que también se presentan grandes variaciones, las velocidades máximas a obtener en el modelo de Fruin y Guio son parecidas, 79 y 81 m/min aproximadamente, o 1,3 y 1,4 m/s respectivamente.

En el modelo del tablero del puente de la estación estudio, la velocidad máxima que se podría presentar es de 94m/min o 1,56m/s, de lo cual se puede concluir que si la densidad fuera de cero, un peatón podría llegar a avanzar hasta 15 y 25cm más por segundo, que en los modelos teóricos de Fruin y Guio respectivamente. Además de ello se puede observar que el flujo se incrementa desmedidamente en el tablero cuando la densidad es de aproximadamente 2,7pe/m<sup>2</sup>, llegando a considerar situaciones que no están acordes al prospecto de normalidad, alcanzando flujos de hasta 192pe/min/m.

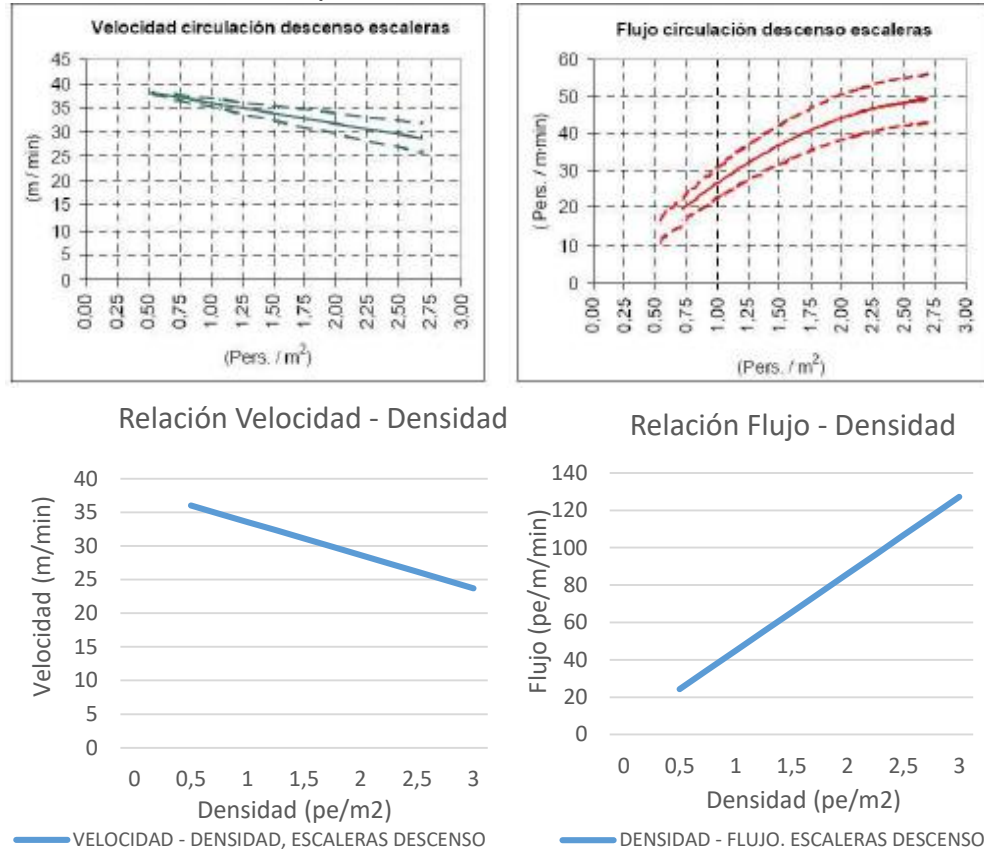
Grafico 37. Relaciones entre variables macroscópicas en infraestructuras de flujo bidireccional, *de ascenso*.



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar comparaciones entre el modelo de Fruin para el descenso de escaleras y el modelo determinado en esta investigación para el descenso de escaleras en hora pico (ver gráfico 38), se puede observar que la velocidad de caminata es similar a la presentada en el entorno Colombiano (escalera de la estación estudio), pero el flujo sí se ve afectado, esto puede deberse a la diferencia de densidades, siendo este un indicador de que a medida que aumenta la densidad, la velocidad de descenso en escaleras es menor por la cantidad de personas por metro cuadrado que transita. Es clave mencionar que la escalera es la infraestructura más densa en este caso estudio.

Grafico 38. Modelo de Fruin para la circulación en escaleras en descenso.

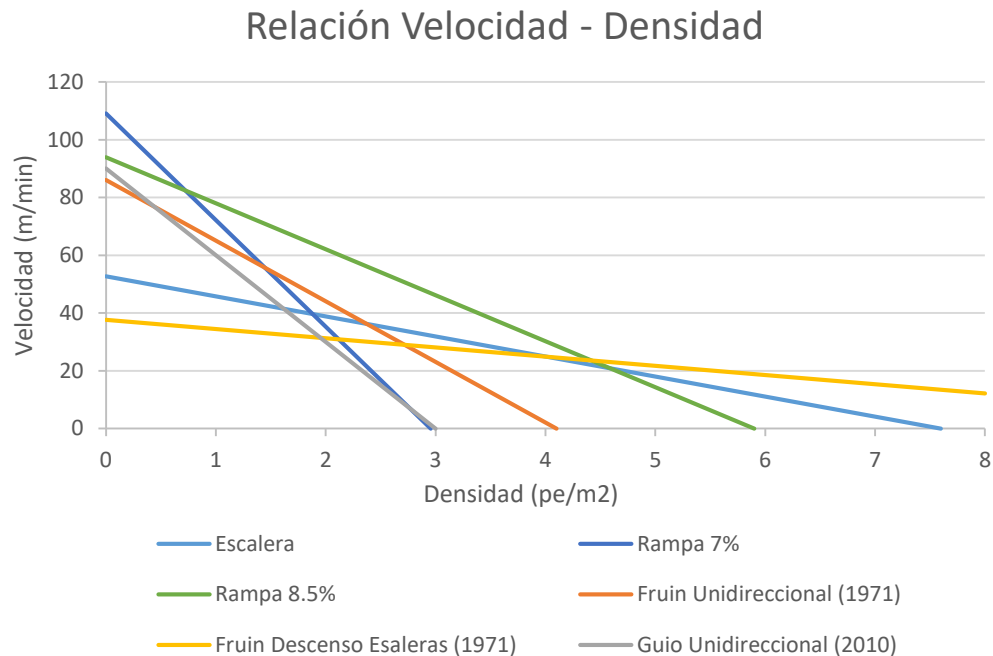


Fuente: Fruin, J. 1987 y autores.

A continuación el gráfico 39 presenta una comparación acerca de los resultados en descenso para cada una de las infraestructuras y modelos mencionados anteriormente.

Según la relación velocidad – densidad en infraestructuras de flujo unidireccional de descenso, la velocidad máxima la brinda el elemento de menor pendiente y densidad: la rampa de acceso con pendiente de 7%, como era de esperarse. Los modelos de Fruin para escaleras en descenso y el obtenido para la estación Calle 100, son similares con velocidades a flujo libre de aproximadamente 40 m/min y 50 m/min respectivamente, pero densidades de apretujamiento considerablemente diferentes, de aproximadamente 10 pe/m<sup>2</sup> y 8 pe/m<sup>2</sup> respectivamente.

Grafico 39. Relación velocidad – densidad, en infraestructuras de flujo unidireccional, de descenso.

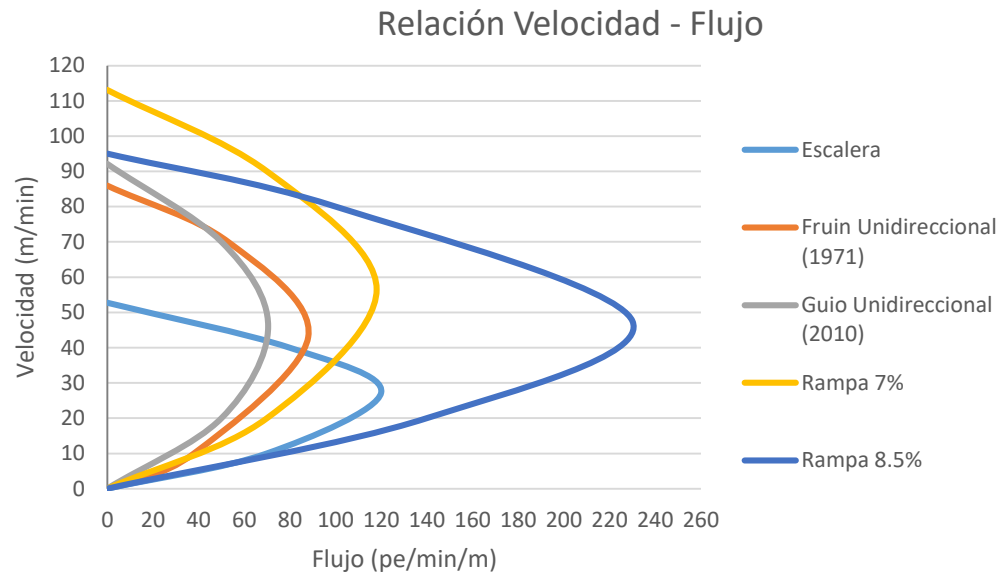


Fuente: Elaboración propia.

Las rampas tienen velocidades a flujo libre similares con 90 m/min la de 8.5% y 110 m/min la de 7%, como era de esperarse, ya que a mayor pendiente, menor velocidad, por otro lado a pesar de tener una diferencia en pendiente longitudinal de solo 1.5% la densidad de aglomeramiento es considerablemente diferente con la 3 pe/m² la de 7% y 6% la de 8.5%.

Los modelos unidireccionales de Fruin y Guío en comparación con los modelos de las rampas tienen un comportamiento general similar con velocidades a flujo libre de entre 86 m/min y 110 m/min pero densidades de aglomeramiento considerablemente diferentes de entre 3 pe/m² y 6 pe/m². El modelo de Guío y el de la rampa de 7% tienen una similitud bastante notoria, la única diferencia es su velocidad de 90 m/min para Guío y 110 para la rampa, todo lo anterior sugiere que la influencia de la pendiente longitudinal en la relación velocidad en descenso no es tan notoria hasta un porcentaje del 8.5%.

Grafico 40. Relación velocidad – flujo, en infraestructuras de flujo unidireccional, de descenso.

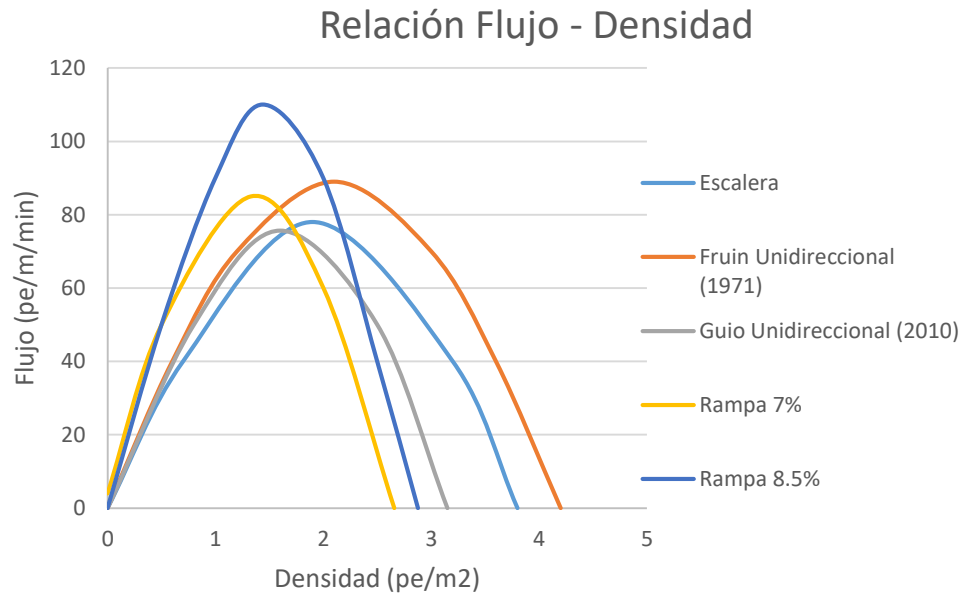


Fuente: Elaboración propia.

Para la relación velocidad-flujo, se presentan diferencias considerables tanto en velocidades máximas, como en velocidades a flujo forzado. El modelo de la escalera tiene la velocidad máxima de 53 m/min lo cual se explica por el tipo de estructura, el riesgo de tropiezo que se percibe al descender rápido y la tendencia a bajar las escaleras con precaución así el usuario tenga prisa.

Los modelos de las rampas difieren en gran medida de los de Fruin y de Guío, el modelo de la rampa de acceso con pendiente longitudinal de 8.5% tiene una velocidad máxima parecida a la del modelo de Guío con 94 m/min, pero su flujo máximo es mucho mayor con aproximadamente 230 pe/min/m, el modelo que más se aproxima a los modelos de Fruin y Guío es el de la rampa intermedia de 7%, pero aun así presenta una velocidad y un flujo máximos mayores con 112 m/min y 120 pe/min/m respectivamente.

Grafico 41. Relación flujo – densidad, en infraestructuras de flujo unidireccional, *de descenso*.



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 41 permite observar que los modelos para rampas y escalera en descenso no presentan variación excesiva en cuanto a densidad, teniendo en cuenta que los modelos de Guio y Fruin presentan una densidad máxima de 3 y 4 pe/m<sup>2</sup> respectivamente, cada uno de los modelos incluido el de Guio y el de Fruin oscila entre 2,6 y 4 pe/m<sup>2</sup>, siendo la densidad más baja la de la rampa de acceso con una pendiente del 7%, seguida de la densidad de la rampa intermedia con un 8,5% de pendiente longitudinal y la escalera, siendo ésta la infraestructura más densa de las estudiadas en la estación.

Por otro lado, el flujo se ve fuertemente influenciado por las variaciones de velocidad y densidad, siendo la infraestructura más densa la rampa intermedia, seguidamente del modelo de Fruin, la rampa de acceso, la escalera y por último el modelo de Guio. Esto permite hacer un paralelo entre los comportamientos del flujo peatonal del caso Tunja y el caso acceso de Transmilenio en Bogotá, permitiendo afirmar que en la segunda opción, se presentan mayores velocidades, en algunos casos mayores densidades y en todos los casos mayores flujos.

## **5. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN LOS ACCESOS DE LA ESTACIÓN CALLE 100. METODOLOGÍA TCQSM 2013 Y CCSP 2011**

Siendo la capacidad y nivel de servicio una medida del desempeño de la infraestructura, realizar esta evaluación en el acceso de la estación estudio, permite identificar parámetros clave que son determinantes del servicio prestado por el sistema, los cuales pueden influir directamente en la elección del modo por parte de los usuarios.

En esta investigación se llevará a cabo esta valoración de la capacidad y el nivel de servicio mediante dos metodologías específicas, éstas son el TCQSM 2013,<sup>88</sup> que presenta parámetros relacionados con la perspectiva del usuario y el CCSP 2011,<sup>89</sup> la cual está calibrada para el entorno Colombiano.

### **5.1. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN LOS ACCESOS DE LA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA TRANSMILENIO, METODOLOGÍA TCQSM 2013**

La metodología general de Transit Capacity Quality Service Manual (2013),<sup>90</sup> tiene en cuenta los distintos puntos de vista de los componentes humanos en los sistemas, como son: pasajeros, operarios, ejecutivos y empleados del sistema, usuarios de vehículos privados y demás miembros de la comunidad, de acuerdo a los sistemas que abordan y evalúan. En teoría, el entorno peatonal deseable brinda espacio suficiente para que los peatones caminen a la velocidad que desean, rebasen los peatones más lentos, eviten conflictos con los peatones que entran o cruzan e interactúen visualmente con el entorno. A continuación se presenta la determinación del NS para cada una de las infraestructuras de acceso a la estación estudio en las condiciones más críticas (hora pico).

---

<sup>88</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.

<sup>89</sup> DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

<sup>90</sup> TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.



**5.1.1. Capacidad y nivel de servicio en el tablero, hora pico:** el TCQSM 2013, no cuenta con una metodología adaptada a las condiciones propias de los tableros en puentes, lo más cercano a ello son las plataformas, aunque pueda que sus resultados no sean significativos para la toma de decisiones. Por ende para evaluar el NS del tablero se usará la metodología CCSP 2011.

**5.1.2. Capacidad y nivel de servicio en la escalera, hora pico:** el ancho de la escalera es un factor determinante del cual depende la velocidad peatonal para este elemento. *El método del nivel de servicio*, parte de la determinación de la demanda peatonal de la escalera para el periodo de análisis y la obtención del flujo peatonal de diseño, al dividir la demanda por el número de minutos evaluado. Se calcula el ancho requerido de la escalera dividiendo el flujo peatonal de diseño, entre el flujo peatonal máximo y teniendo en cuenta la imagen 25, se determina el NS.

Imagen 28. Método del nivel de servicio en escaleras.

LOS	Avg. Ped. Space		Flow per Unit Width		Description
	(ft <sup>2</sup> /p)	(m <sup>2</sup> /p)	(p/ft/min)	(p/m/min)	
A	≥ 20	≥ 1.9	≤ 5	≤ 16	Sufficient area to freely select speed and to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause limited conflicts.
B	15-20	1.4-1.9	5-7	16-23	Sufficient area to freely select speed with some difficulty in passing slower-moving pedestrians. Reverse flows cause minor conflicts.
C	10-15	0.9-1.4	7-10	23-33	Speeds slightly restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause some conflicts.
D	7-10	0.7-0.9	10-13	33-43	Speeds restricted due to inability to pass slower-moving pedestrians. Reverse flows cause significant conflicts.
E	4-7	0.4-0.7	13-17	43-56	Speeds of all pedestrians reduced. Intermittent stoppages likely to occur. Reverse flows cause serious conflicts.
F	≤ 4	≤ 0.4	Variable	Variable	Complete breakdown in pedestrian flow with many stoppages. Forward progress dependent on slowest moving pedestrians.

Source: Fruin [2].

Fuente: TCQSM 2013.

La escalera presenta un espacio peatonal medio de 1,18m<sup>2</sup>/pe, un flujo por unidad de ancho de 36,16pe/m/min, lo cual permite concluir que este presta un nivel de servicio **D**, lo que quiere decir que la libertad para seleccionar la velocidad de caminar y pasar a otros es restringida, además de ello, se presenta una alta probabilidad de conflictos por movimientos inversos o cruzados.

**5.1.3. Capacidad y nivel de servicio en rampas:** según el TCQSM 2013, en muchas aplicaciones las rampas se consideran auxiliares de las vías principales de circulación en una estación, proporcionadas para servir sólo a una pequeña porción del total de usuarios de una estación. En estos casos, su capacidad no será crítica para el análisis del flujo de pasajeros y no es necesario evaluarlos en términos de LOS, es por esta razón que no se han determinado los límites para los niveles de servicio, pero se menciona que pueden ser comparables con los de las pasarelas, ya que pendientes de hasta 6% no tienen mayor efecto en los peatones. Para este caso específico las rampas existentes en el acceso de la estación estudio presentan rampas con pendiente longitudinal del 7 y 8,5%, por ende la metodología no permite determinar la capacidad y nivel de servicio de estas.

## **5.2. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO EN EL ACCESO DE LA ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA TRANSMILENIO, METODOLOGÍA CCSP 2011**

La metodología CCSP tiene en cuenta variables relacionadas con la infraestructura, entre ellas se destacan el ancho efectivo, estado de la superficie, pendiente, obstrucciones laterales, longitud del tramo y tipo de vía. En cuanto a las características del flujo peatonal, se considera la velocidad de caminata como variable de decisión, el volumen peatonal, el factor de periodo pico, y el efecto de la distribución direccional del flujo. Las características propias de los peatones que se tienen en cuenta son: género, edad, acompañantes, paquetes o maletas y bloqueos por encuentro. En cuanto a las condiciones del entorno se considera el tipo de zona en función del uso del suelo del sector.

**5.2.1. Cálculo de la capacidad en el tablero:** La capacidad de una infraestructura peatonal, se da en peatones para un período determinado de tiempo y por metro lineal de ancho de sección transversal, según la siguiente ecuación:

$$C = C_i * A_e * f_{eg} * f_{pe} * f_{td} * f_s$$

Donde:

C = Capacidad de la infraestructura a estudiar.

Ci = Valor máximo de flujo para condiciones ideales.

Ae = Ancho efectivo utilizado por los peatones.

Feg = Factor de ajuste por edad y género

Fpe = Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía.

Ftd = Factor de ajuste por tipo de vía y distribución direccional.

Fs = Factor de ajuste por acompañantes.

Según Guio,<sup>91</sup> el valor de Ci (flujo para condiciones ideales), de un modelo de vía exclusiva bidireccional calibrado en el entorno colombiano, presenta una capacidad teórica de 4982pe/hora/m.

El ancho efectivo usado por los peatones en el tablero del puente se determinó cuando se aforaron las densidades, este es de 1,95m.

El Factor de ajuste por edad y género Feg, se determina a través de la siguiente ecuación:

$$Feg = \frac{1}{1 + [Pn (En - 1) + Pa (Ea - 1) + \dots]}$$

Donde:

Pn = Proporción de niños en decimal

En = Equivalente de joven por niño (Ver cuadro 4)

Para este caso específico como no se cuenta con información de edad peatonal, se tendrán en cuenta los datos de Reyes y Suarez,<sup>92</sup> determinados en un estudio de capacidad y niveles de servicio por el método CCSP realizado en un puente de la Universidad Nacional; Al no especificarse el género de estos, se asume que es igual la distribución de edades en hombres y mujeres. Los porcentajes son los siguientes:

% Niños	0,04
% Jóvenes	0,3
% Adultos	0,64
% Adultos Mayores	0,02

---

<sup>91</sup> GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.

<sup>92</sup> REYES, Erika y SUAREZ, Jorge. Comparación de metodologías para cálculo de capacidad y nivel de servicio de infraestructuras peatonales. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero de Transporte y Vías. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2014

Aplicando la ecuación, se tiene:

$$Feg = \frac{1}{1 + [0,04 (1,165 - 1) + 0,64 (1,035 - 1) + 0,02(1,333 - 1) + \dots]}$$

$$Feg = 0,873$$

Cuadro 4. Equivalente en hombre joven por diferentes edades y géneros.

GÉNERO	EDAD	EQUIVALENTE
MASCULINO	NIÑO	1.165
	JOVEN	1.000
	ADULTO	1.035
	ADULTO MAYOR	1.333
FEMENINO	NIÑO	1.096
	JOVEN	1.080
	ADULTO	1.203
	ADULTO MAYOR	1.591

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

El Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía  $F_{pe}$ , es de 1 teniendo en cuenta que la pendiente es suave y el estado es bueno (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía  $F_{pe}$ .

PENDIENTE	ESTADO		
	BUENO	REGULAR	MALO
SUAVE < 3%	1.000	0.990	0.990
MEDIA 3% - 7%	0.978	0.949	0.910
ALTA 7% - 12%	0.933	0.905	0.868

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

El Factor de ajuste por tipo de vía y distribución direccional  $F_{td}$ , es de 0,69, ya que la distribución direccional obtenida en esta investigación es de 87%-13% y se considera que el tablero hace parte de una vía exclusiva. A manera de comentario, los resultados obtenidos en el puente de la Universidad Nacional también presentan una distribución direccional de 87%-13%. El factor de ajuste se determinó en el cuadro 6:

Cuadro 6. Factor de ajuste por distribución direccional y tipo de vía.

ACERA		VÍA EXCLUSIVA	
DISTRIBUCIÓN	FACTOR	DISTRIBUCIÓN	FACTOR
50/50	1.00	50/50	1.00
60/40	0.87	60/40	0.90
70/30	0.78	70/30	0.82
80/20	0.70	80/20	0.75
90/10	0.64	90/10	0.69
100/0	0.58	100/0	0.64

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Por último, para determinar el factor de ajuste por acompañante  $F_s$ , se toma como referencia que el porcentaje de peatones que van acompañados es de 16%<sup>93</sup> por lo tanto el factor de ajuste es de 0,988<sup>94</sup>; Reemplazando en la ecuación de capacidad, esta es de:

$$C = 4982 \text{ pe /hora / m} * 1,95\text{m} * 0,873 * 1 * 0,69 * 0,988$$

$$C = 5781,74 \text{ pe/hora/m}$$

**5.2.2. Cálculo de la capacidad en la rampa:** para determinar la capacidad en la rampa, se usa el mismo procedimiento con el que se determinó la capacidad en el tablero. Los valores a reemplazar en la ecuación son los siguientes:

$C_i$  = Valor máximo de flujo para condiciones ideales = 4982pe/hora/m

$A_e$  = Ancho efectivo utilizado por los peatones = 1,95m

$F_{eg}$  = Factor de ajuste por edad y género = 0,873

$F_{pe}$  = Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía = 0,933 (Ver cuadro 5)

$F_{td}$  = Factor de ajuste por tipo de vía y distribución direccional = 0,69 (Dist. 90/10)

$F_s$  = Factor de ajuste por acompañantes = 0,988

$$C = 4982 \text{ pe /hora / m} * 1,95\text{m} * 0,873 * 0,933 * 0,69 * 0,988$$

$$C = 5394,36 \text{ pe/hora/m}$$

<sup>93</sup> REYES, Erika y SUAREZ, Jorge. Comparación de metodologías para cálculo de capacidad y nivel de servicio de infraestructuras peatonales. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero de Transporte y Vías. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2014

<sup>94</sup> REYES, Erika y SUAREZ, Jorge. Comparación de metodologías para cálculo de capacidad y nivel de servicio de infraestructuras peatonales. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero de Transporte y Vías. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2014

**5.2.3. Nivel de servicio para el tablero:** inicialmente se identifica la velocidad media ideal para peatones a flujo libre teniendo en cuenta la pendiente de la estructura ( $U_{FL}$ ), (Ver cuadro 2). En este caso para el tablero, teniendo en cuenta que la pendiente es menor al 3% y la longitud del tramo 41m, la velocidad es de 1,57; Seguidamente, se determina la velocidad de caminata a flujo predeterminado  $U_{FP}$  mediante la siguiente ecuación:

$$U_{FP} = U_{FL} * \frac{V}{C}$$

Donde el factor  $V/C$  es la relación entre el volumen de servicio y la capacidad. El volumen de servicio debe expresarse en términos de flujo, por lo que debe ser dividido por el factor de hora pico (FHP) calculado para periodos de 15 minutos y fluctuaciones dentro de ellos.

Con el fin de determinar el factor de hora pico, se determinó el volumen de la hora de máxima demanda, el cual fue de 5002 peatones, entre las 5:30 y 6:30pm, la máxima tasa de flujo encontrada es de 1452pe/15min y se encuentra entre las 6:15 y 6:30pm. El factor de hora pico, considerando periodos de 15 minutos es de:

$$FHP = \frac{5002pe}{4 * 1452pe} = 0,86$$

$$Flujo = \frac{5002}{0,86} = 5816 pe/hora/m$$

Reemplazando en la ecuación para determinar la velocidad de caminata a flujo predeterminado  $U_{fp}$ :

$$U_{FP} = 1,57m/seg * \frac{5816 pe/hora/m}{5781,74 pe/hora/m}$$

$$U_{FP} = 1,58m/seg$$

Posteriormente, se establece la velocidad representativa de las condiciones estudiadas o previstas  $U_{RE}$ . Esta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$U_{RE} = U_{FP} * Factor\ de\ ajuste$$

Los factores de ajuste que se consideran son los siguientes:

Ajuste por efecto de utilización de la capacidad ( $F_{v/c}$ ): según el cuadro 7 y con un  $V/C = 1$ , el factor de ajuste es de: 0,5.

Cuadro 7. Factor de corrección por efecto de utilización de la capacidad  $F_{v/c}$ .

V/C	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
$F_{v/c}$	1.00	0.99	0.98	0.95	0.92	0.87	0.82	0.75	0.68	0.59	0.55	0.50

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Ajuste por edad y género ( $F_{eg}$ ): 0,873 (Determinado en el cálculo de capacidad).

Ajuste por pendiente y estado de la vía ( $F_{pe}$ ): 1 (Determinado en el cálculo de capacidad)

Ajuste por objeto ( $F_o$ ): se determina a través de la siguiente ecuación:

$$F_o = \frac{1}{1 + [P_1 (E_1 - 1) + P_n (E_n - 1) + \dots]}$$

Dónde:

$P_1$  = Proporción de peatones con un objeto, en decimal

$E_1$  = Equivalente de peatones con un objeto, en peatones sin objetos del tabla

$P_n$  = Proporción de peatones con más de un objeto, en decimal

$E_n$  = Equivalente de peatones con más de un objeto, en peatones sin objetos del cuadro 8.

Cuadro 8. Factores de equivalencia para peatones con objetos.

PENDIENTE	SIN OBJETOS	CON OBJETOS
SUAVE < 3%	1.000	1.045
MEDIA 3% - 7%	1.000	1.286
ALTA 7% - 12%	1.000	1.543

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Teniendo en cuenta que en esta investigación, la proporción de los peatones con paquete a sin paquete en el tablero es de 86/14, se reemplaza en la ecuación; Es preciso mencionar que no se tiene el dato de la cantidad de paquetes que llevan las personas.

$$Fo = \frac{1}{1 + [0,86 (1,045 - 1)]}$$

$$Fo = 0,962$$

Ajuste por acompañantes (Fna): 0,988 (Determinado en el cálculo de capacidad)

Ajuste por distribución direccional y tipo de vía: 0,69 (Determinado en el cálculo de capacidad).

Factor de ajuste por sector urbano: 1. se determina a través del cuadro 9.

Cuadro 9. Factor de ajuste por sector urbano

SECTOR	FACTOR
CENTRO	1.000
EDUCATIVO	1.266
OTROS	1.063

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Factor de ajuste por ancho restringido: es igual a 1,032 y se determina en el cuadro 10.

Cuadro 10. Factor de ajuste por ancho restringido.

ANCHO EFECTIVO (m)	FACTOR
≥ 2.5	1.000
2.4	1.020
2.3	1.035
2.2	1.043
2.1	1.045
2.0	1.042
1.9	1.032
1.8	1.016
1.7	0.994
1.6	0.967
1.5	0.933
1.4	0.893
1.3	0.847
1.2	0.795
1.1	0.737
1.0	0.674
0.9	0.604
0.8	0.528
0.7	0.446
0.6	0.358
0.5	0.264
<0.5	0.200

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.



Finalmente reemplazando en la ecuación de la velocidad representativa en condiciones estudiadas  $U_{RE}$ : (Ver cuadro 11)

$$U_{RE} = \frac{1,58m}{seg} * 0,5 * 0,873 * 1 * 0,962 * 1 * 0,988 * 0,69 * 1,032$$

$$U_{RE} = 0,47m/s$$

Cuadro 11. Velocidad peatonal para condiciones locales UT

Vía/Andén (Pendiente Longitudinal)	NIVELES DE SERVICIO					
	A	B	C	D	E	F
Suave (< 3%)	> 1.35	1.30 - 1.35	1.23 - 1.30	1.15 - 1.23	0.90 - 1.15	< 0.90
Media (3% - 7%)	> 1.15	1.10 - 1.15	1.05 - 1.10	0.90 - 1.05	0.85 - 0.90	< 0.80
Alta (7% - 12%)	> 0.95	0.90 - 0.95	0.85 - 0.90	0.75 - 0.85	0.70 - 0.75	< 0.70

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Se determina el nivel de servicio, obteniendo un nivel de servicio F, donde el espaciamiento peatonal es menor que 0.80 m<sup>2</sup>/p, la tasa de flujo es variable y la velocidad menor que 0.90 m/s. En este nivel de servicio, todas las velocidades de caminata están seriamente restringidas, y el avance se realiza solamente arrastrando los pies. El contacto con otros peatones es frecuente e inevitable. El flujo es esporádico e inestable.

Al realizar la comparación de los parámetros macroscópicos obtenidos en la investigación con los resultados arrojados de nivel de servicio, los autores consideran que estos no son representativos, ya que el tablero no presenta condiciones tan deplorables en cuanto al flujo peatonal, por ende se ha decidido evaluar el nivel de servicio teniendo en cuenta los resultados directos de las variables macroscópicas y el cuadro 12:

Las variables que se deben conocer son:

Espacio m<sup>2</sup>/pe = 2,688

Flujo pe/min/m = 33,62

Velocidad m/seg = 1,42

Relación flujo/capacidad =  $\frac{2017,2 \text{ pe/hora/m}}{5781,74 \text{ pe/hora/m}} = 0,35$

Volumen horario = 5002pe/hora

El tablero presenta un Nivel de servicio **C**, lo que quiere decir que el flujo es estable, presentando un espaciamiento peatonal entre 2.5 y 3.8 m<sup>2</sup>/p, tasa de flujo entre 1220 y 1740 p/hora/m y velocidad de caminata entre 1.23 y 1.30 m/s. El espacio es suficiente para velocidades de caminata normales, y realizar sobrepasos en corrientes predominantemente unidireccionales. Caminar en dirección contraria o realizar movimientos de cruce puede causar algunos conflictos menores. Por otro lado se considera que este resultado está acorde a los comportamientos observados en campo y durante el desarrollo de la investigación.

Cuadro 12. NS y variables macroscópicas.

Nivel de Servicio	Espacio m <sup>2</sup> /peat	Flujo peat/min/m	Velocidad m/seg	Relación flujo/capacidad	Volumen horario
A	> 5.6	< 14	> 1.35	< 0.2	< 870
B	3.8 - 5.6	14 - 20	1.3 - 1.35	0.2 - 0.3	870 - 1220
C	2.5 - 3.8	20 - 29	1.23 - 1.3	0.3 - 0.45	1220 - 1740
D	1.6 - 2.5	29 - 43	1.15 - 1.23	0.45 - 0.65	1740 - 2600
E	0.8 - 1.6	43 - 67	0.9 - 1.15	0.65 - 1.0	2600 - 4000
F	< 0.8	Variable	< 0.9	Variable	Variable

Fuente: adaptado desde Quintero y Salcedo, 2012.<sup>95</sup>

**5.2.4. Nivel de servicio en la rampa intermedia:** para determinar el nivel de servicio en las rampas, se consideró la rampa intermedia (m=8,5%) por ser la que presenta mayores conflictos, la rampa de acceso, al presentar tan baja densidad y volumen opera en buenas condiciones. El LOS se consideró de los estudios de las variables macroscópicas (Ver cuadro 12). Esta presenta las siguientes variables:

Espacio m<sup>2</sup>/pe = 1,49

Flujo pe/min/m = 57,47

Velocidad m/seg = 1,284

Relación flujo/capacidad =  $\frac{3448,2 \text{ pe/hora/m}}{5394,36 \text{ pe/hora/m}} = 0,64$

Volumen horario = 5002pe/hora

<sup>95</sup> QUINTERO, Ricardo y SALCEDO Leonardo. Calibración y validación de parámetros en un modelo de flujo peatonal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero en Transporte y Vías. Tunja, 2012.

La rampa presenta un nivel de servicio **D**, ésta es relativamente estable con tendencia a flujo inestable: cuenta con un espaciamiento peatonal entre 1.6 y 2.5 m<sup>2</sup>/p, tasa de flujo entre 1740 y 2600 p/hora/m y velocidad de caminata entre 1.15 y 1.23 m/s. Se especifica que en la rampa los peatones tienen la libertad para seleccionar velocidades de caminata individuales y sobrepasar a otros se restringe. Por otro lado cruzar o circular en dirección contraria, presenta gran probabilidad de conflicto requiriendo cambios frecuentes de velocidad y posición. Los autores consideran que el nivel de servicio obtenido por esta metodología concuerda con lo obtenido en campo y lo observado en los comportamientos peatonales.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación permitirá a los operadores de tránsito, planeadores de transporte e ingenieros y diseñadores de la infraestructura vial, proveer un área apropiada para el acceso a las estaciones de TransMilenio. Esto con el fin de beneficiar las necesidades de los pasajeros y que el espacio sea confortable con el fin de prevenir congestionamiento peatonal en los accesos de las estaciones.

### 6.1. CONCLUSIONES

✓ *De las infraestructuras de acceso peatonal*

La evaluación de las características del flujo peatonal en las infraestructuras destinadas a este modo, posibilitan a las autoridades que toman decisiones sobre el desarrollo de futuros proyectos de infraestructura, aplicar medidas y acciones encaminadas a garantizar las condiciones dignas del prestación del servicio de estas infraestructuras, que respondan a una demanda y a unas necesidades de movilidad en entornos urbanos con características de movilidad específicas. En cuanto a los prestadores del servicio de Transporte BRT y administradores de las infraestructuras, permiten comprender las condiciones de operación de los elementos que componen el sistema e identificar posibles fallas, para desarrollar alternativas de solución que optimicen los servicios y mejoren las experiencias de los usuarios.

Al hablar de los elementos de una estación, se tiene la concepción de que al formar parte del mismo conjunto funcionan como un todo; En lo observado durante el proceso de investigación, se evidenció que las infraestructuras de acceso, aunque estén conectadas con la plataforma de abordaje de la estación, no presentan el mismo comportamiento que ésta, sus múltiples características, usos y condiciones, permiten al peatón asumir una actitud diferente en sus movimientos e interacciones con otros usuarios.

✓ *De los comportamientos de la movilidad peatonal*

La selección de la estación calle 100 del Sistema TransMilenio y la elección del acceso nororiental como objeto de análisis, fue satisfactoria ya que al ser una de las estaciones con mayores volúmenes peatonales en el sistema durante los últimos años, permite ver de manera clara los comportamientos generales de los usuarios del modo en los distintos elementos que se pretendían evaluar en la investigación.

Las características demográficas, la densidad poblacional y las largas distancias que deben recorrer los usuarios en su cotidianidad, crean comportamientos con marcadas diferencias a los evidenciados en los entornos evaluados, en las investigaciones referenciadas en este trabajo de grado.

Las actividades comerciales generadas a partir de la atracción de personas al sistema TransMilenio, como son: ventas ambulantes, distribución de publicidad y personas que recurren a la caridad de los usuarios, no se consideraron durante la investigación ya que su relevancia en la interferencia del flujo peatonal se consideró mínima por su ubicación y el criterio de la longitud de obstáculo mayor a tres metros.

✓ *De la representatividad de los resultados*

Los resultados obtenidos en esta investigación para la estación estudio, pueden ser aplicables en las demás estaciones del sistema, debido a que es el elemento más crítico y se considera que las estaciones en general poseen características físicas muy similares en sus instalaciones peatonales. Además pueden ser guías útiles al evaluar y caracterizar la movilidad peatonal y el servicio prestado por las infraestructuras peatonales de acceso.

Debido a la configuración y a las características específicas de los portales, estos requieren una investigación con los mismos objetivos de la presente, pero considerando las particularidades físicas y operacionales de este tipo de centros de tránsito.

✓ *De los resultados de la caracterización de la movilidad peatonal*

Los resultados obtenidos en esta investigación que se relacionan en el cuadro resumen 13, muestran que el comportamiento peatonal en Colombia tiene una tendencia similar a lo concluido por autores internacionales referenciados respecto a: tanto en hora valle como en hora pico y en diferentes infraestructuras continuas a desnivel (escaleras, rampa con pendiente del 7%, rampa con pendiente del 8,5% y en el tablero del puente), con características peatonales como posesión o no de paquete, los hombres caminan más rápido que las mujeres.

Los peatones que presentan paquete, ya sean hombre o mujer, tienden a caminar más lento que los que no llevan paquete. La rampa del 8,5% tiene una densidad similar a la del tablero y se observa que en ascenso la pendiente reduce la velocidad en un 10% y en descenso en un 3%. Por otro lado, en la rampa del 7%, con una longitud de 50m y una densidad considerablemente menor, se observa que se presenta un aumento de la velocidad de 12% en ascenso y 16% en descenso, respecto al tablero con una pendiente asumida del 0%. Lo cual permite determinar que la densidad tiene una influencia mayor sobre la velocidad que la pendiente longitudinal.

Se logró identificar una diferencia significativa en velocidades peatonales ascenso – descenso entre periodos valle y pico; Para las escaleras por ejemplo, en hora pico a pesar de que la densidad aumenta en comparación con la hora valle, la velocidad se acrecienta aproximadamente en un 30%; En la rampa de acceso con una pendiente longitudinal del 7% la velocidad peatonal en hora pico aumenta alrededor del 20% en comparación con la de hora valle; En la rampa intermedia, con una pendiente longitudinal del 8,5%, la velocidad en hora pico aumenta en un 15% con respecto a la velocidad de hora valle; Finalmente en el tablero, se presenta una tendencia diferente, en este caso la velocidad promedio en periodo valle prima en un 15% respecto a su similar de la hora pico.

Las condiciones específicas del entorno Bogotano, se ven reflejadas en las comparaciones de las metodologías, al evidenciarse diferencias significativas en las relaciones de las variables macroscópicas evaluadas.

Como conclusión se asume que la velocidad se ve influenciada por los motivos de viaje de cada peatón. En la ciudad de Bogotá por ejemplo, las horas pico están determinadas por el horario laboral, donde la prisa se apodera de los usuarios presentándose la necesidad de recorrer distancias en el menor tiempo posible.

Como compendio general de los resultados obtenidos, se presenta el cuadro 13 como cuadro resumen.

Cuadro 13. Cuadro resumen, resultados obtenidos

HORA PICO	ESCALERA ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,837 Pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	0,658	0,73	0,64	0,763	0,698	
	ESCALERA DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	0,69	0,828	0,773	0,825	0,769	
HORA VALLE	ESCALERA ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,640 Pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	0,562	0,495	0,389	0,43	0,469	
	ESCALERA DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	0,429	0,477	0,504	0,569	0,495	
HORA PICO	RAMPA ACCESO m=7% ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,254 Pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,59	1,654	1,541	1,645	1,608	
	RAMPA ACCESO m=7% DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,63	1,71	1,618	1,71	1,667	
HORA VALLE	RAMPA ACCESO m=7% ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,213 Pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,313	1,326	1,23	1,23	1,268	
	RAMPA ACCESO m=7% DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,402	1,463	1,297	1,3	1,365	

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 14 es la continuación del cuadro resumen.

Cuadro 14. Continuación cuadro resumen, resultados obtenidos

HORA PICO	RAMPA INTERMEDIA m=8,5% ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,670 pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,29	1,422	0,975	1,374	1,265	
	RAMPA INTERMEDIA m=8,5% DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,33	1,57	1,255	1,42	1,394	
HORA VALLE	RAMPA INTERMEDIA m=8,5% ASCENSO VELOCIDAD (m/s)					DENSIDAD MEDIA 0,335 pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,289	1,287	1,113	1,257	1,237	
	RAMPA INTERMEDIA m=8,5% DESCENSO VELOCIDAD (m/s)					
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,314	1,321	1,192	1,201	1,257	
HORA PICO	TABLERO VELOCIDAD (m/s)					D = 0,553 pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,35	1,548	1,328	1,495	1,43	
HORA VALLE	TABLERO VELOCIDAD (m/s)					D = 0,311 pe/m <sup>2</sup>
	Hom+Paq	Hom-Paq	Muj+Paq	Muj-Paq	Promedio	
	1,537	1,689	1,501	1,412	1,552	

Fuente: Elaboración propia.

✓ De la aplicación de las metodologías para determinar capacidad y nivel de servicio

Según la metodología TCQSM 2013 y a pesar que la estación de la calle 100 es una de las más congestionadas de la ciudad, los niveles de servicio presentados en la escalera, no son los esperados, ya que según la percepción de los usuarios, debería estar en servicio F, pero los resultados arrojan niveles de servicio D.

Según la metodología CCSP 2011, el nivel de servicio para el tablero y la rampa es de D y C respectivamente, mostrando un NS mejor al percibido por los usuarios.



✓ *De la percepción de los usuarios (Ver anexo A6)*

Al realizar un sondeo virtual entre usuarios frecuentes de la estación calle 100 del sistema TransMilenio, se logró determinar que la opinión de estos en cuanto a comodidad es negativa, el 64% de la población encuestada, siente un nivel de incomodidad alto, siendo mayor este porcentaje en el género femenino. De la percepción de la seguridad se pudo determinar que los usuarios se sienten inseguros en cuanto a la estabilidad de las estructuras usadas y por la falta de la presencia de autoridades que contrarresten la acción criminal.

De las medidas propuestas para mejorar la experiencia del usuario en el uso de la estación, la implementación de escaleras, rampas eléctricas y semáforos peatonales, fueron los de mejor acogida entre los encuestados.

Sobre la autoevaluación del comportamiento peatonal de los encuestados, se concluye que alrededor del 70%, se consideran buenos y muy buenos usuarios del sistema.

## **6.2. RECOMENDACIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA**

✓ *De la técnica de recolección de datos:*

En la técnica de recolección de datos, la captura de la estación desde arriba minimiza la distorsión de la perspectiva y permite al aforador tener en cuenta el área de estudio como una geometría plana, sobre la cual se pueden proyectar coordenadas cartesianas y dibujar líneas de medición imaginarias o rejillas para un análisis detallado. El escenario ideal incluiría dos cámaras filmando simultáneamente: una desde arriba para facilitar el análisis de las trayectorias y las mediciones de distancias y una a nivel peatonal para capturar características más específicas. Otra opción podría ser una cámara de alta resolución que permita identificar los rasgos distintivos de cada peatón para su respectiva clasificación.

Se recomienda además en los estudios en infraestructuras de BRT o TPCU, realizar la toma de datos de volúmenes con periodos más cortos (<15min) ya que se presentan micro-picos debido a la llegada inminente de vehículos de transporte

público y descarga de pasajeros que pueden generar un incremento temporal de la congestión, pelotones y/o colas.

Se recomienda que para futuros estudios se amplíe el tamaño de la muestra, con el fin de que la dispersión y la normalidad de los datos representen mejor el comportamiento real del sistema.

✓ *Investigación futura:*

Esta información se puede usar como base en el desarrollo del manual de capacidad y niveles de servicio y/o como complemento a la metodología preliminar desarrollada por el ingeniero Guio en Tunja, para el entorno Colombiano.

Se espera que se realicen estudios de variables macroscópicas del flujo peatonal y comportamientos peatonales en los demás accesos de la estación, para que esta información pueda complementarse. También se proponen estudios de flujo bidireccionales, considerando múltiples variables en el peatón como edad, distracciones (si habla por celular, juega, etc.), comportamientos de personas en condición de embarazo, discapacitados, presencia de bicicletas, coches, con niños de la mano, entre otras.

Se propone igualmente que se adelanten investigaciones en las plataformas de abordaje en las estaciones, ya que es allí donde realmente se genera la congestión y aglomeración de usuarios, por otro lado al evidenciarse que en el acceso de la estación estudio, en ningún momento se presentó flujo inestable o forzado, con el fin de la calibración del manual, es necesario investigar en otras zonas del país, como en estaciones de BRT en otras partes del país (Pereira, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, entre otros), se propone además que se adelanten estudios en una estación de metro de la ciudad de Medellín.

Por otro lado, se recomienda hacer estudios de variables macroscópicas en rampas con diferentes pendientes longitudinales y distintas longitudes, con el fin de determinar desde qué porcentaje la rampa empieza a causar efectos adversos en la velocidad de los peatones del medio colombiano.

Se plantea la realización de encuestas perceptivas en campo a los usuarios, con el fin de determinar los umbrales de los niveles de servicio en las diferentes infraestructuras peatonales, para su uso en metodologías de evaluación.

En cuanto a la relación de este proyecto con otras áreas de conocimiento se plantea la investigación acerca del mayor nivel de incomodidad e inseguridad para el género femenino y cómo con medidas operativas del sistema, se puede disminuir esta percepción sobre la estación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA HERNANDEZ, Gabriela. Identificación y evaluación de indicadores de calidad en terminales de transporte automotor de pasajeros. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Mención Transporte, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Abril, 2009.

AL.AZZAWI, M y RAESIDE, R. Modeling pedestrian walking speeds on sidewalks. Journal of Urban planning and Development, Vol. 133, No. 3, September 1, 2007.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. Norma Colombiana de Diseño de Puentes –LRFD- CCP14. 2014.

ATKINSON-PALOMBO Y KUBY. The geography of advance transit-oriented development in metropolitan Phoenix, Arizona, 2000–2007. Journal of Transport Geography 19 (2), 189-199. 2011.

BENNETT, S., FELTON, A., AKCELIK, R. Pedestrian movement characteristics at signalized intersections, Proceedings of the 23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2001), Monash University, Melbourne, Australia, December 2001.

CERVERO Y MURAKAMI. Rail and property Development in Hong Kong: Experiences and extensions. University of Hong Kong. 2009.

CARACOL RADIO. Movilidad y Transporte. “Top 10 de estaciones más congestionadas en TransMilenio”, Bogotá, 2015. [En línea] [http://caracol.com.co/emisora/2015/08/20/bogota/1440094631\\_722020.html](http://caracol.com.co/emisora/2015/08/20/bogota/1440094631_722020.html) [Citado el 10 de Febrero de 2018]

CHANDRA, S., BHARTI, A.K. Speed Distribution Curves for Pedestrians during Walking and Crossing. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. 104, 660-667.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, CEPAL. Facilitación del Transporte y el comercio en América Latina y el Caribe. Unidad de Servicios de Infraestructura, Naciones Unidas. Boletín FAL. Edición N° 312 de 2012.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DISTRITAL. Decreto 279 de 2003. “Por el cual se reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital”. Bogotá D.C.

DIARIO EL TIEMPO. En qué se rajan los pasajeros de TransMilenio. 05 de Mayo de 2014. Bogotá DC [En línea]. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13938737> [Citado el 19 de Noviembre de 2017]

DIARIO EL TIEMPO. El primer día del TransMilenio, Archivo 2014. [En línea] <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14687636> [Citado el 25 de Enero de 2018].

DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto y GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Método colombiano para estimar la capacidad y calidad del servicio en infraestructuras peatonales – CCSP. Tunja 2011.

EMBARQ. Social, Environmental and Economic Impacts of BRT Systems. World Resources Institute. [En línea] <http://www.wri.org/cities/sites/default/files/Social-Environmental-Economic-Impacts-BRT-Bus-Rapid-Transit-EMBARQ.pdf> [Citado el 25 de Enero de 2018]

FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (FDOT). [En línea] <http://www.fdot.gov/> [Citado el 19 de Diciembre de 2017]

FRUIN, J. and STRAKOSCH, G. Pedestrian planning and design. Mobile, Ala.: Elevator World. 1987.

FRUIN, J. Pedestrian planning and design, Metropolitan Association of Urban Designer and Environmental Planners, Inc., New York. 1971.

FUNDACIÓN WILLIAM Y FLORA HEWLETT. Guía de planificación de sistemas BRT. Fondo Global de Ambiente, Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente. 2010. [En Línea] <https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf> [Citado el 10 de Diciembre de 2017]

GATES, T.J., NOYCE, D.A., Bill, A.R., Ee, N.V. Recommended Walking Speeds For Pedestrian Clearance Timing Based On Pedestrian Characteristics, Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM. 2006.

GIBSON, G. "Pedestrian activities." Rep. No. FHWA-PL-006, Federal Highways Administration, Washington, D.C. 1980.

GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos. Facultad de Ingeniería, 17(25), pp.75-88. 2008.

GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas. Caso estudio Tunja – Colombia. Facultad De Ingeniería, 17(0121-1129). 2010. [En Línea] <http://dx.doi.org/10.19053/01211129.1366>

GUIO BURGOS, Fredy Alberto. Caracterización y modelación de flujos peatonales en infraestructuras continuas – caso estudio Tunja. Tunja, Trabajo de grado para obtener el título de magíster en Ingeniería con énfasis en tránsito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2009.

GOLDWYN Eric. The Limits of bus rapid transit: a cape town case study. Citylab, Columbia University. 2013. [En línea] <https://www.citylab.com/transportation/2013/03/limits-bus-rapid-transit-cape-town-case-study/4968/> [Citado el 25 de Enero de 2018]

GREENSHIELDS, B. A study of Highway capacity. Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 14. Transportation Research Board. National Research Council. Washington DC. 1934

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Guía práctica de la movilidad peatonal urbana. Bogotá, 2005.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU, Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá, Alcaldía Mayor de Bogotá. 2009.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY, What is BRT?. New York, USA. 2017. [En línea] <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/> [Citado el 31 de Diciembre de 2017]

LAM, W. H. K., and CHEUNG, C. Pedestrian speed flow relationships for walking facilities in Hong Kong. J. Transp. Eng., 126\_4\_, 343–349. 2000.

LEE, J., & LAM, W. Levels of Service for Stairway in Hong Kong Underground Stations. *Journal Of Transportation Engineering*, 129(2), 196-202. 2003 [En línea] [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(2003\)129:2\(196\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(2003)129:2(196))

LEVINSON, H. ZIMMERMAN, S. CLINGER, J. GAST, J. RUTHERFORD, S. y BRUHN, E. *Bus rapid transit, volumen 1: Implementation guidelines*. TCRP Report 90. Washington: US Transit Cooperative Research Program. 2003.

LIGHTHILL, M.H., and G.B. WHITHAM. On kinematic waves II: a theory of traffic flow on long, crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London series A*, 229, 317-345. 1955

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana (NTC)*. Bogotá, 1963.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana NTC 4143, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificio, rampas fijas*. 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana, NTC 4144. Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, espacios urbanos y rurales. Señalización*. 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana, NTC 4145. Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, escaleras*. 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana NTC 4201, Accesibilidad de las personas al medio físico, edificios y espacios urbanos, Equipamientos. Bordillos, pasamanos, barandas y agarraderas*. 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana NTC 4774, Accesibilidad de las personas al medio físico, puentes peatonales*. 2004.

MARTINS, N. *Bus Rapid Transit: Level of service analysis of BRT stations and pedestrian itineraries, Looking towards greater user-friendly accessibility and*

universal design. In 13th International Conference on 'Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons'. New Delhi. 2012.

MARQUEZ, Luis Fernando. Determinación de Niveles de Servicio en Pasillos de Acceso a las Estaciones Perisur y Villa Olímpica del BRT- Metrobús. México, 2013.

MORRALL, J. S., RATNAYAKE, L. L., and SENEVIRATNE, P. N. "Comparison of central business district pedestrian characteristics in various areas." Transportation Research Record. 1294, Transportation Research Board, Washington, D.C., 57–61. 1991.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP). Multimodal Level of Service for Urban Streets.

NAVIN F. P. D. and R. J. WHEELER, Pedestrian flow characteristics, Traffic Engineering, Vol. 39(4), pp.30-36. 1969.

OLDER, S. J. Movement of pedestrians on footways in shopping streets, Traffic Engineering and Control, Vol.10, pp.160-163. 1988

PATRA, M., SALA, E., & RAVISHANKAR, K. Evaluation of pedestrian flow characteristics across different facilities inside a railway station. Transportation Research Procedia, 2017. 25, 4763-4770.

PUSHKAREV, Boris and ZUPAN, Jeffrey. Urban Space for Pedestrians. The MIT Press, Cambridge, Mass. 1975.

QUINTERO, Ricardo y SALCEDO Leonardo. Calibración y validación de parámetros en un modelo de flujo peatonal. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero en Transporte y Vías. Tunja, 2012.

RASTROJI, R., CHANDRA, S., & MOHAN, M. Development of Level of Service Criteria for Pedestrians. Journal Of The Indian Roads Congress. 2014.

RODRÍGUEZ, D., BRISSON, E., & ESTUPIÑÁN, N. The relationship between segment-level built environment attributes and pedestrian activity around Bogota's BRT stations. Transportation Research Part D: Transport And Environment, 2009. 14(7), 470-478.



ROESS, Roger; PRASSAS, Elena y McSHANE, Wiliam. Traffic Engineering. Fourth Edition. United States, Pearson Education. 2010. ISBN-13: 978-0-13-613573-9

SHAH, J., JOSHI, G., PARIDA, P., & ARKATKAR, S. Comparative Study of Macroscopic Pedestrian Flow Characteristics on Stairways at Rail Transit Stations. *Transportation In Developing Economies*, 3(1). 2016. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1007/s40890-016-0030-9>

SHAH, J., JOSHI, G. AND PARIDA, P. Behavioral Characteristics of Pedestrian Flow on Stairway at Railway Station. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2013. 104, pp.688-697.

SHAH, J., JOSHI, G., PARIDA, P., & ARKATKAR, S. Determination of Pedestrian Level of Service for Undivided Stairways at Suburban Rail Stations in Developing Countries. *Transportation Research Record: Journal Of The Transportation Research Board*, 2016. 2581, 123-133. [En línea] <http://dx.doi.org/10.3141/2581-15>

REYES, Erika y SUAREZ, Jorge. Comparación de metodologías para cálculo de capacidad y nivel de servicio de infraestructuras peatonales. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero de Transporte y Vías. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2014

TARAWNEH, M.S. Evaluation of Pedestrian Speed in Jordan with Investigation of Some Contributing Factors. *Journal of Safety Research*, 2001. 32(2), 229-236.

TRANSMILENIO. Historia. Sitio Web, [En línea: [http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la\\_entidad/nuestra\\_entidad/Historia](http://www.transmilenio.gov.co/Publicaciones/la_entidad/nuestra_entidad/Historia) [Citado el 25 de Enero de 2018]

TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL). Pedestrianised shopping streets. Research Rep. No. 61, Crowthorne, U.K. 1985.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Cooperative Research Program. Customer-Defined Service Quality.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual (HCM). National Research Council, Washington, DC. 2010.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Transit Capacity Quality Service Manual (TCQSM). The National Academies, Washington, DC. Third Edition. 2013.

VIRKLER, M. R., and ELAYADATH, S. Pedestrian speed-flow-density relationships. Transportation Research Record. 1438, Transportation Research Board, Washington, D.C., 51–58. 1994.

WEN, Y., YAN, K., & YU, C. Level of Service Standards for Pedestrian Facilities in Shanghai Metro Stations. International Conference On Transportation Engineering. Southwest Jiaotong University, Chengdu, China. 2007.

ZHAO, Z., YAN, J., LIANG, D., & YE, S. Pedestrian Flow Characteristic of Typical Metro Station Near the Commercial Property. Procedia Engineering, 2014. 71, 81-86. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.011>

## **8. ANEXOS**

- A1. Carta de permiso, traducción capítulo 3 y 10 del TCQSM 2013
  - A2. Factores de ajuste metodología CCSP
  - A3. Formato de aforo peatonal de volúmenes.
  - A4. Formato de aforo peatonal de densidades.
  - A5. Formato de aforo peatonal de velocidades.
  - A6. Percepción del usuario.
- A8. Hoja de cálculo magnética, resultados obtenidos de variables.
  - A9. Hoja de cálculo magnética, teoría del flujo peatonal.
- A10. Anexo magnético. Traducción capítulo 3 y 10 TCQSM 2013

**ANEXO A1. OFICIO DE PERMISO**  
**TRADUCCIÓN INFORMACIÓN NECESARIA DEL TCQSM 2013**

*The National Academies of*  
**SCIENCES • ENGINEERING • MEDICINE**

**National Academies Press**  
**Rights & Permissions**

January 17, 2018

**Reference #: 01171801**

Heimer Santos  
Calle 30 #19-30  
Barrio Altamira – Tunja  
Boyaca, Colombia 150002

Dear Mr. Santos:

You have requested permission to translate the following material copyrighted by the National Academy of Sciences in an academic thesis:

***Excerpts, TCRP Report 165: Transit Capacity and Quality of Service, 3<sup>rd</sup> Edition***

Your request is granted for the material cited provided that credit is given to the copyright holder. Nonexclusive noncommercial rights are extended to translate this material into the Spanish language for use in your Work.

Suggested credit (example):

Translated with permission from (title of publication), (publication date) by the National Academy of Sciences, Courtesy of the National Academies Press, Washington, D.C. (This credit may be edited pursuant to the publisher's house style and format so long as the essential elements are included).

Thank you,



Barbara Murphy  
Permissions Coordinator  
National Academies Press

## ANEXO A2. FACTORES DE AJUSTE METODOLOGÍA CCSP

### RELACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO POR EL EFECTO DE UTILIZACIÓN DE LA CAPACIDAD. $F_{v/c}$

Se parte del supuesto que la relación volumen / capacidad a nivel de servicio E es decir a capacidad es de 1.0 (acorde con el grafico velocidad vs flujo). De las condiciones locales se obtuvo el gráfico de la parábola que representa la mencionada relación (U vs Q), se tiene 1.0 para la capacidad, se divide en subsectores y se tienen los otros valores, que se relacionan con la escala obtenida del gráfico y que permite obtener el factor que se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Factor de corrección por efecto de utilización de la capacidad  $F_{v/c}$ .

V/C	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	1.00
$F_{v/c}$	1.00	0.99	0.98	0.95	0.92	0.87	0.82	0.75	0.68	0.59	0.55	0.50

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

### FACTOR DE AJUSTE POR EDAD Y GÉNERO $F_{EG}$

Se parte de la formulación de la siguiente ecuación:

$$F_{eg} = \frac{1}{1 + [Pn (En - 1) + Pa (Ea - 1) + \dots]}$$

Donde:

$Pn$  = Proporción de niños en decimal

$En$  = Equivalente de joven por niño (cuadro 16)

Cuadro 16. Equivalente en hombre joven por diferentes edades y géneros.

GÉNERO	EDAD	EQUIVALENTE
MASCULINO	NIÑO	1.165
	JOVEN	1.000
	ADULTO	1.035
	ADULTO MAYOR	1.333
FEMENINO	NIÑO	1.096
	JOVEN	1.080
	ADULTO	1.203
	ADULTO MAYOR	1.591

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

Se tiene el prototipo que es el hombre joven, con Equivalente 1.0. Para los otros valores, se determinó el factor de equivalencia con base de velocidades locales.

## FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE Y ESTADO DE LA VÍA

Los factores de ajuste se obtuvieron relacionado la velocidad con pendiente media y velocidad con pendiente suave para los jóvenes. Estos se muestran en el cuadro 17.

Cuadro 17. Factor de ajuste por pendiente y estado de la vía  $F_{pe}$ .

PENDIENTE	ESTADO		
	BUENO	REGULAR	MALO
SUAVE < 3%	1.000	0.990	0.990
MEDIA 3% - 7%	0.978	0.949	0.910
ALTA 7% - 12%	0.933	0.905	0.868

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## FACTOR DE AJUSTE POR OBJETOS

Se compara la velocidad hombre joven caminado sin objetos a la de hombre joven con objetos, en diferentes tipos de pendiente, dicha relación definirá el factor de ajuste mediante el uso de la siguiente ecuación y el cuadro 17.

$$F_o = \frac{1}{1 + [P_1 (E_1 - 1) + P_n (E_n - 1) + \dots]}$$

Dónde:

$P_1$  = Proporción de peatones con un objeto, en decimal

$E_1$  = Equivalente de peatones con un objeto, en peatones sin objetos del tabla

$P_n$  = Proporción de peatones con más de un objeto, en decimal

$E_n$  = Equivalente de peatones con más de un objeto, en peatones sin objetos del cuadro 17.

Cuadro 18. Factores de equivalencia para peatones con objetos.

PENDIENTE	SIN OBJETOS	CON OBJETOS
SUAVE < 3%	1.000	1.045
MEDIA 3% - 7%	1.000	1.286
ALTA 7% - 12%	1.000	1.543

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## FACTOR DE AJUSTE POR NÚMERO DE ACOMPAÑANTES

Su determinación se realiza de forma similar al procedimiento utilizado para el factor de ajuste anterior, mediante el uso de la siguiente ecuación y el cuadro 19.

$$Fna = \frac{1}{1 + [P1 (E1 - 1) + Pn (En - 1) + \dots]}$$

Dónde:

$P1$  = Proporción de peatones con un acompañante, en decimal

$E1$  = Equivalente de peatones con un acompañante, en peatones sin acompañantes (Ver cuadro 19)

$Pn$  = Proporción de peatones con más de un acompañante, en decimal

$En$  = Equivalente de peatones con más de un acompañante, en peatones sin acompañantes, (del cuadro 19)

Cuadro 19. Factores de equivalencia para peatones con acompañantes.

TIPO DE VÍA	SÓLO	ACOMPAÑADO
ACERA	1.000	1.100
EXCLUSIVA	1.000	1.500
SENDERO	1.000	1.500

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## FACTOR DE AJUSTE POR EFECTO COMBINADO DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL Y TIPO DE VÍA

Los factores se agrupan en el cuadro 20.

Cuadro 20. Factor de ajuste por distribución direccional y tipo de vía.

ACERA		VÍA EXCLUSIVA	
DISTRIBUCIÓN	FACTOR	DISTRIBUCIÓN	FACTOR
50/50	1.00	50/50	1.00
60/40	0.87	60/40	0.90
70/30	0.78	70/30	0.82
80/20	0.70	80/20	0.75
90/10	0.64	90/10	0.69
100/0	0.58	100/0	0.64

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## FACTOR DE AJUSTE POR SECTOR URBANO

Se relaciona la velocidad de hombres jóvenes en zona centro con la de otros tipos de sectores como se muestra en el cuadro 21.

Cuadro 21. Factor de ajuste por sector urbano

SECTOR	FACTOR
CENTRO	1.000
EDUCATIVO	1.266
OTROS	1.063

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## FACTOR DE AJUSTE POR ANCHO RESTRINGIDO

Se obtuvo a partir de observaciones en campo, en aceras y vías exclusivas bajo diferentes anchos efectivos. Los factores se muestran en el cuadro 22.





Cuadro 22. Factor de ajuste por ancho restringido.

ANCHO EFECTIVO (m)	FACTOR
≥ 2.5	1.000
2.4	1.020
2.3	1.035
2.2	1.043
2.1	1.045
2.0	1.042
1.9	1.032
1.8	1.016
1.7	0.994
1.6	0.967
1.5	0.933
1.4	0.893
1.3	0.847
1.2	0.795
1.1	0.737
1.0	0.674
0.9	0.604
0.8	0.528
0.7	0.446
0.6	0.358
0.5	0.264
<0.5	0.200

Fuente: Adaptado de Quintero y Salcedo, 2012.

## ANEXO A3. FORMATO DE AFORO PEATONAL, VOLÚMENES

ESTUDIO DE VOLUMENES PEATONALES EN ACCESOS DE ESTACIONES BRT					
CARACTERIZACIÓN DE LA MOVILIDAD PEATONAL EN ACCESOS Y SALIDAS DE UNA ESTACIÓN BRT, CASO TRANSMILENIO		 FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS TUNJA 2017-II		 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
FECHA <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		HOJA <table border="1" style="display: inline-table; width: 30px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table> DE <table border="1" style="display: inline-table; width: 30px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		ESTACIÓN <table border="1" style="width: 150px; height: 20px;"></table>	
HORA INICIO <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		HORA FINAL <table border="1" style="display: inline-table; width: 60px; height: 20px; vertical-align: middle;"></table>		ACCESO <table border="1" style="width: 150px; height: 20px;"></table>	
CONDICION CLIMATICA <table border="1" style="width: 150px; height: 20px;"></table>		INFRAESTRUCTURA <table border="1" style="width: 150px; height: 20px;"></table>		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 5px;">E S Q U E M A</div> <table border="1" style="width: 180px; height: 80px;"></table> </div>	

MOV	PERIODO	HOMBRES	HOMBRES CON PAQUETE	MUJERES	MUJERES CON PAQUETE
	TOTAL				
	TOTAL				
	TOTAL				
	TOTAL				

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

AFORADOR:

## ANEXO A4. FORMATO DE AFORO PEATONAL, DENSIDADES

[illegible]

## ANEXO A5. FORMATO DE AFORO PEATONAL DE VELOCIDADES

[illegible]

## **ANEXO A6. PERCEPCIÓN DEL USUARIO, ESTACIÓN CALLE 100, ACCESO ESTUDIO, SISTEMA TRANSMILENIO**

La participación del ingeniero de tránsito en las ciudades tiene una relación especial con los usuarios, Roess<sup>96</sup> señala que ningún otro ingeniero diseña un producto que usan tantas personas de forma rutinaria y con frecuencia expresa. Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental considerar la perspectiva del peatón con respecto a las infraestructuras de transporte, a través de su percepción.

La encuesta es un método que permite recopilar información relacionada con investigaciones estadísticas ya sean cualitativas o cuantitativas a través de preguntas formuladas a una muestra significativa de la población. Con la aplicación de ésta encuesta se pretende integrar la opinión de los usuarios de la estación Calle 100 del sistema TransMilenio, a su vez, conocer el nivel de seguridad y comodidad que experimentan en sus accesos, evaluar su percepción ante posibles cambios operativos y de infraestructura y valorar el comportamiento de los usuarios en el sistema, con el fin de establecer nuevas estrategias tendientes a mejorar el flujo peatonal en este acceso. Adicional a esto, se llevaron a cabo entrevistas a algunos usuarios que circundaban.

### **FORMULARIO**

Este consta de 6 preguntas claras, concisas y de fácil comprensión. Dos (2) de ellas están enfocadas en conocer la percepción del usuario con respecto a la seguridad y a la comodidad que experimenta a diario en la estación, una (1) pregunta tiene que ver directamente con la autoevaluación del usuario, calificando su comportamiento como peatón y tres (3) preguntas están relacionadas con la construcción o implementación de nuevas infraestructuras o estrategias operativas para mejorar el flujo peatonal. Para finalizar se tomó información de género y se dio la posibilidad de escribir un comentario libremente.

---

<sup>96</sup> ROESS, Roger; PRASSAS, Elena y McSHANE, William. Traffic Engineering. Fourth Edition. United States, Pearson Education. 2010. ISBN-13: 978-0-13-613573-9

## **TAMAÑO DE LA MUESTRA**

Teniendo en cuenta las condiciones en las que se realizó la encuesta se determinó que el método no probabilístico ya que el proceso que se usó para encuestar no brinda a los individuos de la población las mismas posibilidades de ser escogidos para que sus respuestas hagan parte de sus resultados. Usando un muestreo por conveniencia que se ajustaba a las necesidades propias ya que es usado comúnmente en pruebas piloto y exploratorias.

## **SISTEMA DE MUESTREO**

La encuesta se realizó virtualmente, para ello se usó la plataforma de Google<sup>97</sup> y se difundió en redes sociales, (grupos de Facebook de TransMilenio y universidades). Se decidió realizar el sondeo de esta manera ya que el aforo personal por falta de tiempo y disposición de los usuarios era tedioso. Los usuarios en la estación generalmente transitan con afán y su colaboración a personas desconocidas es mínima.

## **APLICACIÓN DE LA ENCUESTA**

La recolección de la información se realizó durante los días 5, 6, 7 y 8 de Febrero del 2018, días en los que el formulario se hizo público y se compartió en internet. Cabe mencionar que el formulario estuvo disponible durante las 24 horas de los días relacionados para su diligenciamiento.

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

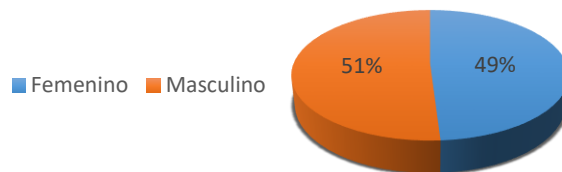
El siguiente subcapítulo permite observar los resultados obtenidos en cuanto a la caracterización y opinión de los usuarios de la estación calle 100 encuestados.

---

<sup>97</sup> "Formulario on line de Google Drive". Disponible en: [https://www.google.com/intl/es-419\\_co/forms/about/](https://www.google.com/intl/es-419_co/forms/about/)

✓ **Género:** en el gráfico 42 se observa la distribución de los encuestados según el género, éste permite afirmar que la difusión de la encuesta no presenta gran variabilidad entre hombres y mujeres, dejando al descubierto que no se conserva la tendencia de distribución de género en el uso de la estación. (Según la caracterización de los volúmenes, las mujeres usan más el acceso noroccidental de la estación).

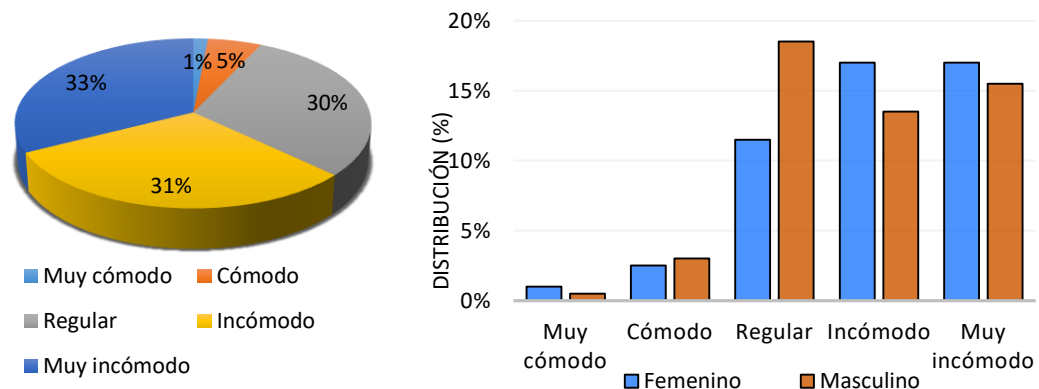
Grafico 42. Distribución según el género



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Comodidad:** la pregunta que se realizó a los usuarios de la estación fue: según la siguiente clasificación, ¿qué nivel de comodidad experimenta al usar los accesos de la estación? Las respuestas visibles en el grafico 43, permiten concluir que los usuarios del sistema no se sienten cómodos al ingresar a éste. El 64% de las personas encuestadas coinciden en que el acceso es muy incómodo e incómodo, el 30% de las personas se sienten regularmente cómodos y tan sólo el 7% de los usuarios se sienten a gusto con el acceso al sistema TransMilenio. Por otro lado, según la comodidad distribuida por género, las mujeres se sienten más incómodas que los hombres a la hora de ingresar al sistema.

Grafico 43. Comodidad en el acceso de la estación.



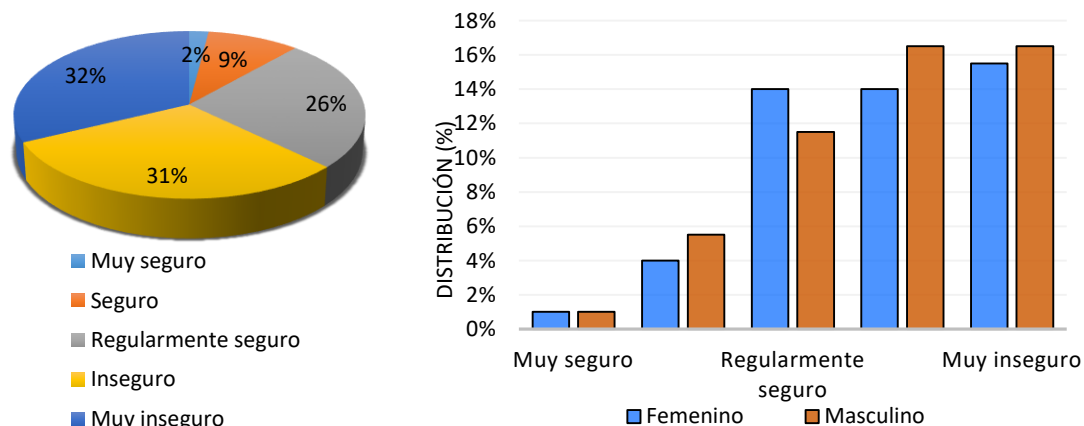
Fuente: Elaboración propia.

En los comentarios finales de la realización de la encuesta, los usuarios precisan que el acceso es incómodo porque los vendedores ambulantes obstaculizan el flujo y restan ancho efectivo a las estructuras.

✓ **Seguridad:** a la pregunta, ¿qué nivel de seguridad experimenta al usar los accesos de la estación? la mayoría de los usuarios respondieron que no se sienten seguros en estos, (Ver gráfico 44). El 63% de las personas encuestadas coinciden en que el acceso es inseguro y muy inseguro, el 26% de las personas se sienten regularmente seguras y tan sólo el 11% de los usuarios se sienten completamente seguros en el acceso al sistema TransMilenio. Por otro lado, según la seguridad distribuida por género, la tendencia es similar para ambos géneros, aunque destaca que las mujeres se sienten más inseguras dentro de la estación.

Para finalizar, los usuarios mencionaron dos aspectos en cuanto a seguridad, uno, la falta de vigilancia por parte de la Policía para evitar el ladroncio y cosquilleo, y dos, la inestabilidad de las estructuras, ya que mientras se camina en el puente, éste se mueve como si fuera a colapsar.

Gráfico 44. Seguridad en el acceso de la estación.



Fuente: Elaboración propia.

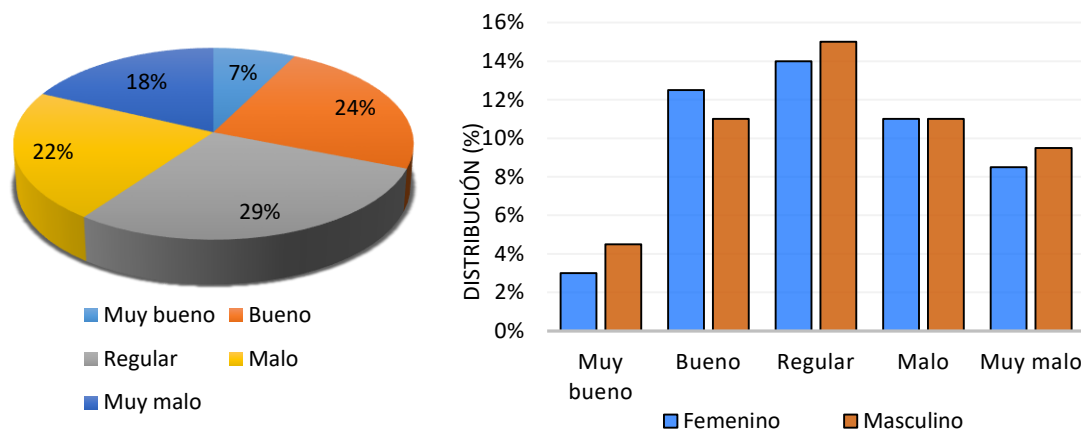
✓ **Construcción de carriles peatonales exclusivos para personas de la tercera edad:** en los resultados de la caracterización peatonal, se observó que las personas de la tercera edad o con movilidad reducida, interferían en el flujo de los



demás usuarios, por esta razón se decidió conocer la percepción de los peatones acerca de la construcción de carriles peatonales exclusivos para personas de la tercera edad. Las opiniones estuvieron divididas, el 29% de la muestra cree que la medida es regular, el 24% asiente que la medida es buena, pero por otro lado el 22% enfatiza en que la construcción de estos carriles es mala, el 18% de la muestra cree que la medida es muy mala y tan sólo el 8% considera que es buena. Al agrupar las opiniones el 40% de la población cree que la medida es mala, un porcentaje alto asociado a la creencia de que la construcción de dichos carriles podría afectar la circulación normal de los usuarios dentro de la estación, y el 31% cree que es buena. Por otro lado, la distribución de las opiniones por género no presenta grandes variaciones.

En los comentarios finales se observa que el rechazo a esta medida es principalmente por la creencia de que estos no serán respetados debido a la cultura Colombiana, los usuarios enfatizan en que aunque esta es una buena medida para ordenar la movilidad, los peatones necesitan más cultura e inteligencia vial para poder ser implementada.

Grafico 45. Carriles peatonales exclusivos para personas de la tercera edad.

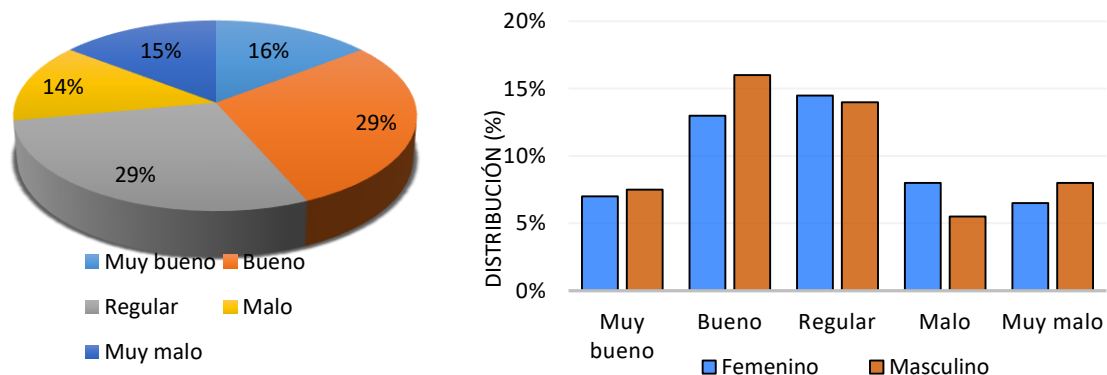


Fuente: Elaboración propia.

✓ **Construcción de rampas y escaleras eléctricas:** a la pregunta, ¿cómo considera la construcción de rampas y escaleras eléctricas en el acceso de la estación? Las opiniones se encuentran divididas, el 45% de los usuarios respondieron que la medida es buena y muy buena, (Ver gráfico 46). El 31% de los peatones coinciden en que la medida es mala y muy mala, y el 29% de las personas consideran que la construcción de rampas y escaleras eléctricas en los

accesos es regular, Por otro lado, la opinión por género concluye que los hombres se sentirían más cómodos con esta medida en relación a las mujeres.

Grafico 46. Rampas y escaleras eléctricas.



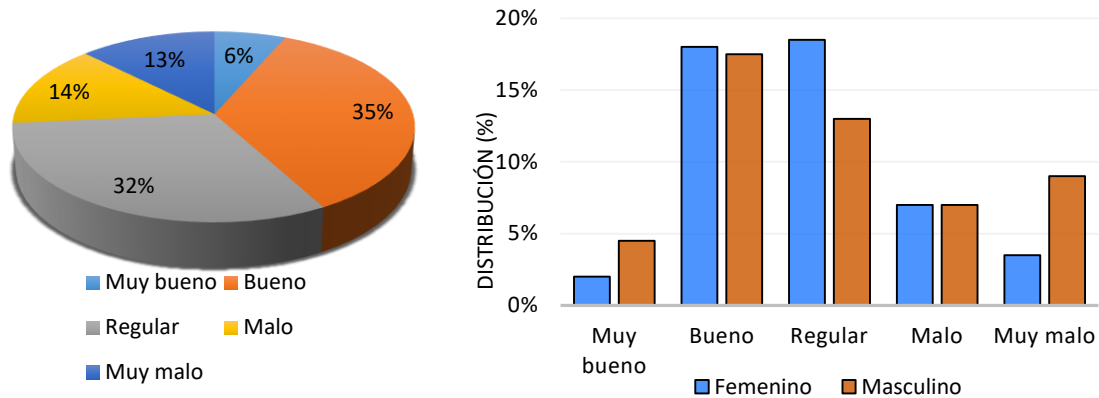
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los comentarios de los usuarios, la opinión negativa de estos respecto a la construcción de rampas y escaleras eléctricas en los accesos de la estación, es debido a la desconfianza hacia los demás por el cuidado de lo público, consideran que la falta de educación y cultura ciudadana, afectaría las infraestructuras provocando daños irreparables, sin dejar de lado los altos costos en los que se incurriría.

**Implementación de semáforos peatonales:** A la pregunta, ¿Qué valoración le da a la implementación de semáforos peatonales en los accesos de la estación? El 73% de las personas encuestadas cree que sería una medida muy buena, buena y regular y el 27% de los usuarios opina que esta medida sería mala y muy mala. La tendencia en cuanto a género es similar, destaca que hay una mayor proporción de mujeres que establecen que la implementación de la medida tendría resultados regulares, en cuanto a los hombres hay una mayor proporción que consideran que esta medida es muy mala.

En relación a los comentarios de los encuestados, la opinión negativa (regular y mala) sobre la implementación de los semáforos peatonales podría estar asociada a la falta de educación y cultura ciudadana por parte de los usuarios, que no estarían dispuestos a esperar o frenar su movilización lo que dificultaría la aplicación de la medida.

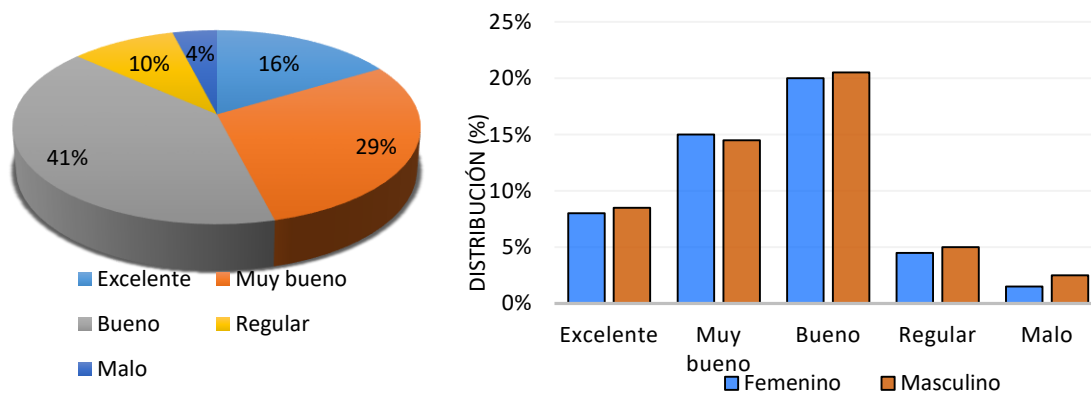
Grafico 47. Semáforos peatonales



Fuente: Elaboración propia.

✓ **Comportamiento de los peatones en el acceso de la estación:** al realizar la pregunta ¿Cómo califica su comportamiento como peatón?, la gran mayoría de los encuestados opinan que su comportamiento es bueno equivalente al 41% y muy bueno 29%, es decir, el 86% de los usuarios opinan que tienen comportamientos positivos dentro del acceso a la estación. Por su parte tan solo el 14% de las personas encuestadas creen que su comportamiento es regular o malo en el acceso a la estación. En cuanto a la opinión por género la tendencia en todas las opciones es similar y no se aprecia ningún tipo de diferencia considerable. El comportamiento de los usuarios se presenta en el gráfico 48.

Grafico 48. Comportamiento de usuarios



Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE  
COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS



ENCUESTA PARA DETERMINAR PERCEPCIÓN DE LOS USUARIOS.  
ESTACIÓN CALLE 100, SISTEMA BRT TRANSMILENIO, BOGOTÁ COLOMBIA

Género: M\_\_\_\_ F\_\_\_\_

1. Según la siguiente clasificación, ¿qué nivel de *comodidad* experimenta al usar los accesos de la estación?

Muy cómodo\_\_\_\_ Cómodo\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Incómodo\_\_\_\_ Muy incómodo\_\_\_\_

2. ¿Cómo califica la construcción de *carriles peatonales exclusivos para personas de la tercera edad*, en los accesos de la estación?

Muy bueno\_\_\_\_ Bueno\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Malo\_\_\_\_ Muy malo\_\_\_\_

3. ¿Cómo considera la implementación de *escaleras y rampas eléctricas* en los accesos de la estación?

Muy bueno\_\_\_\_ Bueno\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Malo\_\_\_\_ Muy malo\_\_\_\_

4. ¿Cómo califica la construcción de *semáforos peatonales* en los accesos de la estación?

Muy bueno\_\_\_\_ Bueno\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Malo\_\_\_\_ Muy malo\_\_\_\_

5. ¿Qué nivel de *seguridad* experimenta al usar los accesos de la estación?

Muy seguro\_\_\_\_ Seguro\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Inseguro\_\_\_\_ Muy inseguro\_\_\_\_

6. ¿Cómo califica su comportamiento como peatón?

Excelente\_\_\_\_ Muy bueno\_\_\_\_ Bueno\_\_\_\_ Regular\_\_\_\_ Malo\_\_\_\_